MÉMOIRES

DE LA CLASSE

DES SCIENCES MATHÉMATIQUES

ET PHYSIQUES

DE L'INSTITUT IMPÉRIAL

DE FRANCE.

ANNÉE 1810.

MÉMOIRES

DE LA CLASSE

DES SCIENCES MATHÉMATIQUES

ET PHYSIQUES

DE L'INSTITUT IMPÉRIAL

DE FRANCE.

ANNÉE 1810.

PREMIÈRE PARTIE.

PARIS,
FIRMIN DIDOT, Imprimeur de l'Institut Impérial de France, et Graveur de l'Imprimerie Impériale, rue Jacob, n° 24.

M. DCCC. XI.

MEMOIRES
DE LA CLASSE
DES SCIENCES
MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES,

ESSAI

Sur la Géographie minéralogique des environs de Paris.

Par MM. G. Cuvier et Alex. Brongniart.

Lu le 11 avril 1808.

CHAPITRE PREMIER.

Introduction. *Énumération et caractère des diverses sortes de terrains qui constituent le sol des environs de Paris.*

La contrée dans laquelle cette Capitale est située est peut-être l'une des plus remarquables qui aient encore été observées, par la succession des divers terrains qui

la composent, et par les restes extraordinaires d'organisations anciennes qu'elle récèle. Des milliers de coquillages marins avec lesquels alternent régulièrement des coquillages d'eau douce, en font la masse principale; des ossemens d'animaux terrestres entièrement inconnus, même par leurs genres, en remplissent certaines parties; d'autres ossemens d'espèces considérables par leur grandeur, et dont nous ne trouvons quelques congénères que dans des pays fort éloignés, sont épars dans les couches les plus superficielles; un caractère très-marqué d'une grande irruption venue du sud-est, est empreint dans les formes des caps et les directions des collines principales; en un mot, il n'est point de canton plus capable de nous instruire sur les dernières révolutions qui ont terminé la formation de nos continens.

Ce pays a cependant été fort peu étudié sous ce point de vue; et quoique depuis si long-temps il soit habité par tant d'hommes instruits, ce que l'on en a écrit se réduit à quelques essais fragmentaires, et presque tous, ou purement minéralogiques, sans aucun égard aux fossiles organisés; ou purement zoologiques, et sans égard à la position de ces fossiles.

Un mémoire de Lamanon sur les gypses et leurs ossemens fait peut-être seul exception à cette classification; et cependant nous devons reconnoître que l'excellente description de Montmartre, par M. Desmarets; les renseignemens donnés par le même savant sur le bassin de la Seine, dans l'Encyclopédie méthodique; l'essai miné-

ralogique sur le département de Paris, par M. Gillet-Laumont; les grandes et belles recherches sur les coquilles fossiles de ses environs, par M. de Lamarck; et la description géologique de la même contrée, par M. Coupé, ont été consultés par nous avec fruit, et nous ont plusieurs fois dirigés dans nos voyages.

Nous pensons cependant que le travail, dont nous présentons ici les résultats, ne sera point sans intérêt, après tous ceux que nous venons de citer.

Par la nature de leur objet, nos courses devoient être limitées selon l'espèce du terrain, et non pas d'après les distances arbitraires; nous avons donc dû d'abord déterminer les bornes physiques du canton que nous voulions étudier.

Le bassin de la Seine est séparé, pendant un assez grand espace, de celui de la Loire, par une vaste plaine élevée, dont la plus grande partie porte vulgairement le nom de Beauce, et dont la portion moyenne et la plus sèche s'étend du nord-ouest au sud-est, sur un espace de plus de quarante lieues, depuis Courville jusqu'à Montargis.

Cette plaine s'appuie vers le nord-ouest à un pays plus élevé qu'elle, et surtout beaucoup plus coupé, dont les rivières d'Eure, d'Aure, d'Ilon, de Rille, d'Orne, de Mayenne, de Sarte, d'Huine et de Loir tirent leurs sources: ce pays dont la partie la plus élevée, qui est entre Scez et Mortagne, formoit autrefois la province du Perche et une partie de la Basse-Normandie, appartient aujourd'hui au département de l'Orne.

La ligne de séparation physique de la Beauce et du Perche passe à-peu-près par les villes de Bonnevalle, Alluye, Iliers, Courville, Pontgouin et Verneuil.

De tous les autres côtés, la plaine de Beauce domine ce qui l'entoure.

Sa chute, du côté de la Loire, ne nous intéresse pas pour notre objet.

Celle qui est du côté de la Seine se fait par deux lignes, dont l'une à l'occident regarde l'Eure, et l'autre à l'orient regarde immédiatement la Seine.

La première va de Dreux vers Mantes.

L'autre part d'auprès de Mantes, passe par Marly, Meudon, Palaiseau, Marcoussy, la Ferté-Alais, Fontainebleau, Nemours, etc.

Mais il ne faut pas se représenter ces deux lignes comme droites ou uniformes : elles sont au contraire sans cesse inégales, déchirées; de manière que si cette vaste plaine étoit entourée d'eau, ses bords offriroient des golfes, des caps, des détroits, et seroient partout environnés d'îles et d'îlots.

Ainsi dans nos environs la longue montagne où sont les bois de Saint-Cloud, de Ville-d'Avray, de Marly et des Aluets, et qui s'étend depuis Saint-Cloud jusqu'au confluent de la rivière de Mauldre dans la Seine, feroit une île séparée du reste par le détroit où est aujourd'hui Versailles, par la petite vallée de Sèvres et par la grande vallée du parc de Versailles.

L'autre montagne, en forme de feuille de figuier, qui porte Bellevue, Meudon, les bois de Verrière, ceux de

Châville, formeroit une seconde île séparée du continent par la vallée de Bièvre et par celle des coteaux de Jouy.

Mais ensuite, depuis Saint-Cyr jusqu'à Orléans, il n'y a plus d'interruption complète, quoique les vallées où coulent les rivières de Bièvre, d'Ivette, d'Orge, d'Étampes, d'Essonne et de Loing entament profondément le continent du côté de l'est, celles de Vesgre, de Voise et d'Eure du côté de l'ouest.

La partie de la côte la plus déchirée, celle qui présenteroit le plus d'écueils et d'îlots, est celle qui porte vulgairement le nom de Gâtinois français, et surtout sa portion qui comprend la forêt de Fontainebleau.

Les pentes de cet immense plateau sont en général assez rapides, et tous les escarpemens qu'on y voit, ainsi que ceux des vallées, et les puits que l'on creuse dans le haut pays, montrent que sa nature physique est la même partout, et qu'elle est formée d'une masse prodigieuse de sable fin qui recouvre toute cette surface, passant sur tous les autres terrains ou plateaux inférieurs sur lesquels cette grande plaine domine.

Sa côte qui regarde la Seine depuis la Mauldre jusqu'à Nemours, formera donc la limite naturelle du bassin que nous avons à examiner.

De dessous ses deux extrémités, c'est-à-dire vers la Mauldre et un peu au-delà de Nemours, sortent immédiatement deux portions d'un plateau de craie qui s'étend en tout sens et à une grande distance pour former toute la Haute-Normandie, la Picardie et la Champagne.

Les bords intérieurs de cette grande ceinture, lesquels passent du côté de l'est par Montereau, Sézanne, Épernay, de celui de l'ouest, par Montfort, Mantes, Gisors, Chaumont, pour se rapprocher de Compiègne, et qui font au nord-est un angle considérable qui embrasse tout le Laonnais, complètent, avec la côte sableuse que nous venons de décrire, la limite naturelle de notre bassin.

Mais il y a cette grande différence, que le plateau sableux qui vient de la Beauce est supérieur à tous les autres, et par conséquent le plus moderne, et qu'il finit entièrement le long de la côte que nous avons marquée; tandis qu'au contraire le plateau de craie est naturellement plus ancien et inférieur à tous les autres; qu'il ne fait que cesser de paroître au dehors le long de la ligne de circuit que nous venons d'indiquer, mais que, loin d'y finir, il s'enfonce visiblement sous les supérieurs; qu'on le retrouve partout où l'on creuse ces derniers assez profondément, et que même il s'y relève dans quelques endroits, et s'y reproduit pour ainsi dire en les perçant.

On peut donc se représenter que les matériaux qui composent le bassin de Paris, dans le sens où nous le limitons, ont été déposés dans un vaste espace creux, dans une espèce de golfe dont les côtes étoient de craie.

Ce golfe faisoit peut-être un cercle entier, une espèce de grand lac; mais nous ne pouvons pas le savoir, attendu que ses bords du côté sud-ouest ont été recouverts, ainsi que les matériaux qu'ils contenoient, par le grand plateau sableux dont nous avons parlé d'abord.

Au reste ce grand plateau sableux n'est pas le seul qui ait recouvert la craie. Il y en a plusieurs en Champagne et en Picardie qui, quoique plus petits, sont de même nature, et peuvent avoir été formés en même temps. Ils sont placés comme lui immédiatement sur la craie, dans les endroits où celle-ci étoit assez haute pour ne point se laisser recouvrir par les matériaux du bassin de Paris.

Nous décrirons d'abord la craie, la plus ancienne des matières que nous ayons dans nos environs.

Nous terminerons par le plateau sableux, le plus nouveau de nos produits géologiques.

Nous traiterons entre ces deux extrêmes des matières moins étendues, mais plus variées, qui avoient rempli la grande cavité de la craie avant que le plateau de sable se déposât sur les unes comme sur l'autre.

Ces matières peuvent se diviser en deux étages.

Le premier, qui couvre la craie partout où elle n'étoit pas assez élevée, et qui a rempli tout le fond du golfe, se subdivise lui-même en deux parties égales en niveau, et placées, non pas l'une sur l'autre, mais bout à bout; savoir :

Le plateau de calcaire siliceux non coquillier;

Le plateau de calcaire grossier coquillier.

Nous connoissons assez les limites de cet étage du côté de la craie, parce que celle-ci ne le recouvre point; mais ces mêmes limites sont masquées en plusieurs endroits par le second étage et par le grand plateau sableux qui forme le troisième et qui recouvre une grande partie des deux autres.

Le second étage est formé de gypse et de marne. Il n'est pas répandu généralement, mais seulement d'espace en espace et comme par taches; encore ces taches sont-elles très-différentes les unes des autres par leur épaisseur et par les détails de leur composition.

Ces deux étages intermédiaires, aussi bien que les deux étages extrêmes, sont recouverts, et tous les vides qu'ils ont laissés sont en partie remplis par une autre sorte de terrain, mélangé aussi de marne et de silice, et que nous appelons terrain d'eau douce, parce qu'il fourmille de coquilles d'eau douce seulement.

Telles sont les grandes-masses dont notre canton se compose et qui en forment les différens étages. Mais, en subdivisant chaque étage, on peut arriver encore à plus de précision, et l'on obtient des déterminations minéralogiques plus rigoureuses, qui donnent jusqu'à onze genres distincts de couches, dont nous allons présenter d'abord l'énumération et ensuite les caractères distinctifs.

Enumération des diverses sortes de terrains ou de formations (1) *qui constituent le sol des environs de Paris.*

1. Formation de la craie.
2. — De l'argile plastique.

---

(1) Nous nous servirons souvent, pour nommer ces diverses sortes de terrain, du mot *formation* adopté par l'école de Freyberg pour désigner un ensemble de couches de même nature ou de différente nature, mais formées à la même époque.

La plupart de ces formations ont été inconnues jusqu'à présent aux

3. — Du

3. — Du calcaire grossier et de son grès marin.
4. — Du calcaire siliceux.
5. — Du gypse à ossemens et du premier terrain d'eau douce.
6. — Des marnes marines.
7. — Des grès sans coquilles et du sable.
8. — Du grès marin supérieur.
9. — Des meulières sans coquilles et du sable argilleux.
10. — Du second terrain d'eau douce, comprenant les marnes et meulières à coquilles d'eau douce.
11. — Du limon d'atterrissement, tant ancien que moderne, comprenant les cailloux roulés, les poudingues, les marnes argilleuses noires et les tourbes.

Pour éviter les répétitions nous ne suivrons pas exactement, dans l'exposition que nous allons faire des caractères distinctifs de ces dernières formations, l'ordre du tableau précédent. Mais nous réunirons quelquefois dans le même article et les terrains qui sont absolument semblables par leur nature minéralogique et ceux qui se suivent et sont, pour ainsi dire, dépendant les uns des autres, quoique différens par leur formation et par leur nature minéralogique.

Article premier. — *De la craie.*

La craie a été considérée par plusieurs Géologistes comme d'une formation très-récente, peu distincte et peu importante. Il est résulté de cette fausse opinion qu'elle a

Géologistes de la célèbre école de Freyberg, du moins nous n'avons pu en reconnoître presqu'aucune dans les ouvrages qu'ils ont publiés, et que nous avons eu occasion de consulter. Cependant, comme il est possible que ces diverses formations existent ailleurs qu'aux environs de Paris, il nous a paru utile de leur donner des dénominations précises qui puissent fournir aux Géologistes le moyen de les désigner clairement s'ils les reconnoissoient ailleurs.

été mal caractérisée. Nous allons chercher à rectifier et à compléter ses caractères d'après les observations que nous avons faites sur la craie abondante aux environs de Paris, et sur celle que nous avons vue en Angleterre et dans diverses parties de la France.

Les caractères extérieurs et en petit de la craie sont les moins utiles pour sa distinction géologique. Elle est en général à grain fin, assez tendre, presque toujours blanche; mais ce caractère est plutôt trompeur que distinctif (1). Ce n'est point de la chaux carbonatée pure; celle de Meudon contient, suivant M. Bouillon-la-Grange, environ 0.11 de magnésie, et 0.19 de silice, dont la plus grande partie est à l'état de sable qu'on peut en séparer par le lavage (2).

Ses caractères en grand sont, 1°. de présenter des masses considérables dont les assises sont souvent très-peu distinctes. Ces assises sont horizontales, mais ne se subdivisent guère horizontalement comme celles du calcaire grossier. 2°. Ces masses renferment presque toujours des lits interrompus ou de silex de formes irrégulières dont les surfaces adhérentes à la craie fondent, pour ainsi dire, ces deux substances l'une dans l'autre, ou de noyaux plus durs que le reste de la masse, qui ont la forme de silex et sont disposés comme eux.

La distance respective des lits de silex varie aux en-

---

(1) M. Werner paroît l'avoir jugé de même, puisqu'il donne le gris et le brun pour couleur de la craie.

(2) M. Haquet a trouvé dans la craie de Volhynie : chaux, 47; magnésie, 8; acide carbonique, 33; silice, 7; alumine, 2; fer oxidé, 0.5.

virons de Paris suivant les lieux. A Meudon ils sont à environ deux mètres l'un de l'autre, et l'espace compris entre deux lits de silex ne renferme aucun morceau isolé de cette pierre. A Bougival, les bancs sont plus éloignés et les silex moins nombreux (1).

Mais ce qui caractérise essentiellement cette formation, ce sont les fossiles qu'elle renferme, fossiles tout-à-fait différens, non-seulement par les espèces, mais souvent par les genres de tous ceux que renferme le calcaire grossier.

Malheureusement les espèces de ces fossiles n'ont pas été encore toutes déterminées, ce qui ne nous permet pas de donner à la liste que nous allons en présenter, l'exactitude desirable. Nous suivons la méthode et la nomenclature de M. de Lamark.

Fossiles de la craie des environs de Paris.

Belemnites	Il y en a peut-être deux espèces; elles paroissent différentes de celles du calcaire compacte.
Lenticulites rotulata.	
Lituolites nautiloidea.	
— *difformis.*	
Pinna	Il n'est pas sûr que les gros fragmens planes de 12 millimètres d'épaisseur et à texture striée, qu'on trouve dans la craie, appartiennent à ce genre de coquille. Nous avons vu chez M. Defrance des portions de charnière qui indiquent un autre genre.

(1) Il paroît que dans une grande partie de la Champagne la craie ne renferme pas de silex.

Mytilus	Très-différent de tous ceux du calcaire grossier.
Cardium ?	
Ostraea vesicularis.	
— *deltoidea.*	
Pecten	M. Defrance en a reconnu deux espèces.
Crania	Elle seroit adhérente et différente en cela des espèces connues.
Perna ?	
Terebratula	Il y en a plusieurs espèces.
Spirorbis.	
Serpula.	
Ananchites ovatus ?	L'enveloppe crustacée des oursins est changée en calcaire spathique, tandis que le milieu est converti en silex.
Spatangus Cor. anguinum Kl.	
Porpytes.	
Caryophyllia.	
Millepora	Les millepores sont souvent en l'état de fer oxidé brun.
Alcyonium.	
Des dents de squales.	

Aucune de ces espèces ne se trouve dans le calcaire grossier. Le genre bélemnite est le fossile caractéristique de la craie. Cette formation est donc parfaitement distincte de la formation du calcaire marin qui la recouvre. Il ne paroît pas qu'il y ait eu entre elles de transition insensible ; du moins dans l'espace de terrain que nous avons étudié (1).

---

(1) Tous ces caractères qui se trouvent également dans le calcaire de la montagne de Maëstricht, nous font penser que ce terrain appartient à la

On ne reconnoît point de différences aussi tranchées entre la craie et le calcaire compacte qu'elle recouvre ; et si c'étoit le lieu d'agiter ici cette question, nous rapporterions des observations qui nous portent à croire que ces deux formations sont peu différentes, et qu'elles passent de l'une à l'autre par des transitions insensibles. Il paroît certain, par exemple, que la craie d'autres pays renferme des espèces de coquilles que nous n'avons pas encore reconnues dans celle des environs de Paris. Il paroît même qu'on y rencontre des ammonites qui semblent être le fossile caractéristique du calcaire compacte.

Ces faits prouvent que la craie n'est pas, comme on l'a cru, d'une formation tout-à-fait récente. Nous allons faire voir qu'elle a été suivie de quatre à cinq formations très-distinctes, et qui indiquent un long espace de temps et de grandes révolutions entre l'époque du dépôt de ce calcaire et celle où nos continents ont reçu la forme qu'ils ont actuellement.

L'énumération que nous venons de donner des fossiles de la craie, est le résultat de nos observations, et surtout de celles de M. Defrance. Nous ferons remarquer, avec ce naturaliste, qu'on n'a encore trouvé dans la craie des environs de Paris, aucune coquille univalve à spire simple et régulière. Ainsi il n'y a aucune cérite, aucun fuseau, etc. Ce fait est d'autant plus remarquable, que nous allons rencontrer ces coquilles en grande

formation de la craie. M. Defrance y a reconnu absolument la même espèce de bélemnite que dans la craie de Meudon.

abondance, quelques mètres au-dessus de la craie, dans des couches également calcaires, mais d'une structure différente.

La craie forme le fond du bassin ou du golfe sur lequel se sont déposés les différentes sortes de terrains qu'on voit aux environs de Paris. Avant que cet ancien sol eût été recouvert par les matières qui composent ces terrains, sa surface devoit présenter des enfoncemens et des saillies qui y formoient des vallées, des collines ou des buttes. Ces inégalités nous sont indiquées par les îles et promontoires de craie qui percent dans quelques points les nouveaux terrains, et par les excavations qu'on a faites dans ceux-ci, et qui ont atteint la craie à des profondeurs très-variables. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que ces inégalités ne paroissent avoir aucune correspondance avec celles de la surface actuelle du terrain qui nous occupe, comme le prouveront les détails que nous donnerons dans le second chapitre.

Art. II. — *De l'argile plastique.*

Presque toute la surface de la masse de craie est recouverte d'une couche d'argile plastique, qui a des caractères communs fort remarquables, quoiqu'elle présente dans divers points des différences sensibles.

Cette argile est onctueuse, tenace, renferme de la silice, mais très-peu de chaux; ensorte qu'elle ne fait aucune effervescence avec les acides. Elle est même absolument infusible au feu de porcelaine, lorsqu'elle ne contient point une trop grande quantité de fer.

Elle varie beaucoup en couleur ; il y en a de très-blanche (à Moret ; dans la forêt de Dreux, etc.) : de grise (à Montereau ; à Condé près d'Houdan) ; de jaune (à Abondant près la forêt de Dreux) ; de gris-ardoisé pur, de gris ardoisé mêlé de rouge, et de rouge presque pur (dans tout le sud de Paris depuis Gentilly jusqu'à Meudon).

Cette argile plastique est, selon ses diverses qualités, employée à faire de la faïence fine, ou des grès, ou des creusets et des étuis à porcelaine, ou bien enfin de la poterie rouge qui a la dureté du grès, lorsqu'on peut la cuire convenablement. Sa couleur rouge, les grains pyriteux, les portions de silex, les petits fragmens de craie et les cristaux de sélénite qu'elle renferme quelquefois, sont les seuls défauts qu'on y trouve.

Cette couche varie beaucoup d'épaisseur : dans quelques parties, elle a jusqu'à 16 mètres et plus ; dans d'autres, elle ne forme qu'un lit mince d'un ou deux décimètres.

On rencontre souvent deux bancs d'argile ; le supérieur que les ouvriers appellent *fausses glaises*, est sabloneux, noirâtre, renferme quelquefois des débris de corps organisés ; il est séparé de l'inférieur par un lit de sable. C'est à celui-ci seulement qu'appartiennent les caractères que nous avons donnés de l'argile plastique.

S'il se trouve réellement des fossiles marins ou terrestres dans cette argile, ils y sont extrêmement rares ; nous n'en avons point encore vu (1) dans les couches

(1) On a trouvé, dans les fouilles qu'on fait actuellement (1810) à

d'argile plastique proprement dites, dans celles enfin qui sont immédiatement superposées à la craie. Nous avons cependant observé beaucoup de ces couches en place, et nous avons examiné des amas considérables de cette argile dans les nombreuses manufactures qui en font usage; enfin les ouvriers qui l'exploitent au sud de Paris, ceux qui l'exploitent aux environs d'Houdan et de Montereau, nous ont assuré n'y avoir jamais rencontré ni coquilles, ni ossemens, ni bois, ni végétaux.

Dolomieu, qui a reconnu ce même banc d'argile entre la craie et le calcaire grossier, dans l'anse que forme la Seine, en face de Rolleboise (1), dit, à la vérité, qu'on y a trouvé des fragmens de bois bitumineux, et qu'on les avoit même pris pour de la houille; mais il faut observer, 1°. que ces petites portions de lignite ont été trouvées dans des parties éboulées du banc qui avoient pu les envelopper à une époque postérieure au dépôt primitif de cette argile; 2°. que les *fausses glaises* qui recouvrent quelquefois cette argile renferment souvent du bois et des coquilles fossiles.

Les lieux que nous avons cités plus haut, prouvent

Marly, au-dessous des bancs calcaires et dans les fausses glaises, un grand nombre de coquilles blanches, comprimées et très-friables. Ces coquilles sont tellement brisées qu'il n'est guère possible d'en déterminer les espèces avec certitude. On remarque que ce sont presque toutes des cithérées voisines du *citherœa nitidula*, mais plus épaisses. On y voit aussi des turritelles. Cette argile sablonneuse diffère beaucoup de l'argile plastique qui recouvre immédiatement la craie, et qu'on a trouvée en sondant. Celle-ci a plus de 10 mètres d'épaisseur; elle est très-grasse, marbrée de rouge, elle a tous les caractères de l'argile de Vanvres, et ne renferme plus une seule coquille.

(1) *Journal des mines*, N° IX, p. 45.

que

que ce banc d'argile a une très-grande étendue, et qu'il conserve, dans toute cette étendue, ses principaux caractères de formation et de position.

Si nous comparons les descriptions que nous venons de donner des couches de craie et des couches d'argile plastique, nous remarquerons, 1°. qu'on ne trouve dans l'argile aucun des fossiles qu'on rencontre dans la craie, 2°. qu'il n'y a point de passage insensible entre la craie et l'argile, puisque les parties de la couche d'argile, les plus voisines de la craie, ne renferment pas plus de chaux que les autres parties.

Il nous semble qu'on peut conclure de ces observations, premièrement : que le liquide, qui a déposé la couche d'argile plastique, étoit très-différent de celui qui a déposé la craie, puisqu'il ne contenoit point sensiblement de chaux carbonatée, et qu'il n'y vivoit aucun des animaux qui habitoient dans les eaux qui ont déposé la craie.

Secondement : qu'il y a eu nécessairement une séparation tranchée, et peut-être même un long espace de temps, entre le dépôt de la craie et celui de l'argile, puisqu'il n'y a aucune transition entre ces deux sortes de terrain. L'espèce de brèche à fragment de craie et pâte d'argile que nous avons remarquée à Meudon, semble même prouver que la craie étoit déjà solide, lorsque l'argile s'est déposée. Cette terre s'est insinuée entre les fragmens de craie produits à la surface du terrain crayeux, par le mouvement des eaux, ou par toute autre cause.

Les deux sortes de terrain que nous venons de décrire,

ont donc été produites dans des circonstances tout-à-fait différentes. Elles sont le résultat de formations des plus distinctes et des plus caractérisées qu'on puisse trouver dans la géognosie, puisqu'elles diffèrent par la nature chimique, par le genre de stratification, et surtout par celui des fossiles qu'on y rencontre.

Art. III. — *Du calcaire grossier et de son grès coquillier marin.*

Le calcaire grossier ne recouvre pas toujours l'argile immédiatement ; il en est souvent séparé par une couche de sable plus ou moins épaisse. Nous ne pouvons dire si ce sable appartient à la formation du calcaire ou à celle de l'argile. Nous n'y avons pas trouvé de coquilles dans les endroits peu nombreux, il est vrai, où nous l'avons observé, ce qui le rattacheroit à la formation argilleuse ; mais la couche calcaire la plus inférieure renfermant ordinairement du sable et étant toujours remplie de coquilles, nous ne savons pas encore si ce sable est différent du premier, ou si c'est le même dépôt. Ce qui nous feroit soupçonner qu'il est différent, c'est que le sable des argiles que nous avons vues, est généralement assez pur, quoique coloré en rouge ou en gris bleuâtre. Il est réfractaire et souvent à très-gros grains.

La formation calcaire, à partir de ce sable, est composée de couches alternatives, de calcaire grossier plus ou moins dur, de marne argilleuse, même d'argile feuilletée en

couches très-minces, et de marne calcaire; mais il ne faut pas croire que ces divers bancs y soient placés au hasard et sans règles : ils suivent toujours le même ordre de superposition dans l'étendue considérable de terrain que nous avons parcourue. Il y en a quelquefois plusieurs qui manquent ou qui sont très-minces ; mais celui qui étoit inférieur dans un canton, ne devient jamais supérieur dans un autre.

Cette constance dans l'ordre de superposition des couches les plus minces, et sur une étendue de 12 myriamètres au moins, est, selon nous, un des faits le plus remarquables que nous ayons constatés dans la suite de nos recherches. Il doit en résulter pour les arts et pour la géologie, des conséquences d'autant plus intéressantes, qu'elles sont plus sûres.

Le moyen que nous avons employé pour reconnoître au milieu d'un si grand nombre de lits calcaires, un lit déjà observé dans un canton très-éloigné, est pris de la nature des fossiles renfermés dans chaque couche : ces fossiles sont toujours 'généralement les mêmes dans les couches correspondantes, et présentent d'un système de couche à un autre système, des différences d'espèces assez notables. C'est un signe de reconnoissance qui jusqu'à présent ne nous a pas trompés.

Il ne faut pas croire cependant que la différence d'une couche à l'autre soit aussi tranchée que celle de la craie au calcaire. S'il en étoit ainsi, on auroit autant de formations particulières ; mais les fossiles caractéristiques d'une couche deviennent moins nombreux dans la couche

supérieure, et disparoissent tout-à-fait dans les autres, ou sont remplacés peu à peu par de nouveaux fossiles qui n'avoient point encore paru.

Nous allons indiquer, en suivant cette marche, les principaux systèmes de couches qu'on peut observer dans le calcaire grossier. On trouvera dans les chapitres suivans, la description complète, lit par lit, des nombreuses carrières que nous avons examinées, et l'énumération des espèces de fossiles que nous y avons reconnues; c'est de ces observations que nous avons tiré les résultats que nous présentons ici d'une manière générale.

Les premières couches et les plus inférieures de la formation calcaire sont le mieux caractérisées : elles sont très-sablonneuses et souvent même plus sablonneuses que calcaires. Quand elles sont solides, elles se décomposent à l'air et tombent en poussière : aussi la pierre qu'elles donnent n'est-elle susceptible d'être employée que dans quelques circonstances particulières.

Le calcaire coquillier qui la compose et même le sable qui la remplace quelquefois, renferment presque toujours de la terre verte en poudre ou en grain. Cette terre, d'après les essais que nous avons faits, est analogue par sa composition à la chlorite baldogée ou terre de Vérone, et doit sa couleur au fer. Elle ne se trouve que dans les couches inférieures : on n'en voit ni dans la craie, ni dans l'argile, ni dans les couches calcaires moyennes ou supérieures, et on peut regarder sa présence comme l'indice sûr du voisinage de l'argile plastique, et par conséquent de la craie. Mais ce qui carac-

térise encore plus particulièrement ce système de couche, c'est la quantité prodigieuse de coquilles fossiles qu'il renferme ; la plupart de ces coquilles s'éloignent beaucoup plus des espèces actuellement vivantes, que celles des couches supérieures.

C'est dans cette même couche qu'on trouve des nummulites. Elles y sont ou seules ou mêlées avec des madrépores et quelques coquilles. Elles sont toujours les plus inférieures, et par conséquent les premières qui se soient déposées sur la formation de craie; mais il n'y en a pas partout. Nous en avons trouvé près Villers-Cotterets, dans le vallon de Vaucienne; à Chantilly, à la descente de la Morlaye. Elles y sont mêlées avec des coquilles très-bien conservées et avec de gros grains de quartz qui font de cette pierre une sorte de poudingue; au mont Ganelon près Compiègne; au mont Ouin près de Gisors, etc.

Un autre caractère particulier aux coquilles de cette couche, c'est qu'elles sont la plupart bien entières et bien conservées, qu'elles se détachent facilement de leur roche, et qu'enfin beaucoup d'entre elles ont conservé leur éclat nacré.

Les autres systèmes de couches sont moins distincts.

Les couches moyennes renferment encore un très-grand nombre d'espèces de coquilles. On y remarque: un banc tantôt tendre et ayant souvent une teinte verdâtre, qui l'a fait nommer *banc vert* par les ouvriers; tantôt d'un gris jaunâtre et dur. Il présente fréquemment à sa partie inférieure des empreintes brunes

de feuilles et detiges de végétaux, mêlées avec des cerites, des ampullaires épaisses et d'autres coquilles marines. La plupart de ces empreintes de feuilles très-nettes et très-variées ne peuvent être rapportées à aucune plante marine; la couche qui les renferme se voit à Chatillon, à St.-Nom, à Saillancourt, etc. c'est-à-dire, dans une étendue de près de dix lieues. Nous en donnons les figures. (*fig.* I. A. B. etc.)

Le troisième système, où le supérieur renferme moins de coquilles que les deux précédens. On peut y reconnoître souvent, 1°. des bancs gris ou jaunâtres, tantôt tendres, tantôt très-durs et renfermant principalement des lucines des pierres, des ampullaires et surtout des cérites des pierres qui y sont quelquefois en quantité prodigieuse. La partie supérieure et moyenne de ce banc, souvent fort dure, est employée comme très-bonne pierre à bâtir, et connue sous le nom de *roche*.

Et 2°. vers le haut, un banc peu épais, mais dur, qui est remarquable par la quantité prodigieuse de petites corbules allongées et striées qu'il présente dans ses fissures horizontales. Ces corbules y sont couchées à plat et serrées les unes contre les autres. Elles sont généralement blanches.

Au-dessus des dernières couches de calcaire grossier, viennent les marnes calcaires dures, se divisant par fragmens dont les faces sont ordinairement couvertes d'un enduit jaune et de dendrites noires. Ces marnes sont séparées par des marnes calcaires tendres, par des marnes argileuses et par du sable calcaire, qui est quel-

quefois agglutiné, et qui renferme des silex cornés à zones horizontales. Nous rapportons à ce système la couche des carrières de Neuilly, dans laquelle on trouve des cristaux de quartz, des cristaux rhomboïdaux de chaux carbonatée inverse, et des petits cristaux cubiques de chaux fluatée (1).

Ce quatrième et dernier système renferme très-peu de coquilles fossiles, et même on n'en voit ordinairement aucune dans les couches supérieures.

On peut caractériser chacun de ces systèmes par les fossiles contenus dans la liste suivante.

PREMIER SYSTÈME. — *Couches inférieures.*

Nummulites lævigata . . . . — *scabra* . . . . — *numismalis* . . . . — etc.	Elles se trouvent toujours dans les parties les plus inférieures : on ne les trouve pas à Grignon ; le banc de Grignon paroît appartenir plutôt aux couches moyennes qu'aux couches inférieures.
Madrepora	Trois espèces au moins.
Astræa	Trois espèces au moins.
Caryophyllia	Trois espèces simples et une rameuse, non décrites. (fig. II. III. IV.)
Fungites (fig. v) . . . . *Cerithium giganteum* . . . . *Lucina lamellosa*	On ne trouve guère que cette espèce de cérites dans les couches réellement inférieures.
Cardium porulosum	
Voluta Cithara.	
Crassatella lamellosa.	
Turritella multisulcata.	
Ostrea Flabellula . . . . — *Cymbula*	La plupart des autres huîtres décrites par M. de Lamark appartiennent à la craie ou à la formation marine au-dessus du gypse.

(1) C'est à M. Lambotin qu'est due la découverte de cette dernière substance.

DEUXIÈME SYSTÈME. — *Couches moyennes.*

Presque toutes les coquilles du banc de Grignon appartiennent à ce système. Les fossiles les plus caractéristique paroissent être les suivans.

Cardita avicularia.
Orbitolites plana.
Turritella imbricata.
Terebellum convolutum.
Calyptræa trochiformis.
Pectunculus pulvinatus.
Citheræa nitidula.
— *elegans.*
Miliolites. . . . . Ils y sont extrêmement abondans.
Cerithium ? . . . . Peut être quelques espèces ; mais on n'y trouve ni le *Cerithium lapidum*, ni le *Cerithium petricolum*, etc., ni les *Cerithium cinctum*, *plicatum*, etc. Ces derniers appartiennent à la seconde formation marine, à celle qui recouvre les gypses.

Des corps articulés semblables à des plantes, (fig. VI.)

La réunion des espèces de coquilles qu'on trouve dans ces deux premiers systèmes de couches, va à près de six cents. Elles ont été presque toutes recueillies par M. Defrance, et décrites par M. de Lamark.

TROISIÈME SYSTÈME. — *Couches supérieures.*

Les espèces y sont beaucoup moins nombreuses que dans les couches moyennes.

Miliolites . . . . Ils y sont plus rares.
Cardium Lima, ou *obliquum*.
Lucina saxorum.
Ampullaria spirata.
Cerithium tuberculatum . . . . . .
— *mutabile*. . . . . Et presque tous les autres *cérithes*, excepté le *giganteum*.
— *lapidum*. . . . .
— *petricolum*. . . . .
Corbula anatina?
— *striata* (1).
Les empreintes de feuilles et de *fucus*.

Les assises du second et du troisième système renferment dans quelques lieux des bancs de grès ou des masses de silex corné, remplis de coquilles marines. Les bancs calcaires sont même quelquefois entièrement remplacés par ce grès, qui est tantôt friable et d'un gris blanchâtre opaque, tantôt luisant, presque translucide, à cassure droite, et d'un gris plus ou moins foncé. Les coquilles qui s'y voient souvent en quantité prodigieuse sont blanches, calcaires et très-bien conservées, quoique minces et quoique mêlées quelquefois avec des cailloux roulés.

Le grès et le silex à coquilles marines sont tantôt

(1) Cette liste est loin d'être aussi complette et aussi exacte qu'elle est susceptible de le devenir; mais on ne pourra l'obtenir ainsi que par une longue suite de recherches et d'observations. Les résultats que peuvent présenter de semblables recherches sont très-importans pour la Géologie.

placés immédiatement sur les couches ou dans les couches du calcaire marin, comme à Triel, à Frêne route de Meaux; à l'est de la Ferté-sous-Jouarre; à St.-Jean-les-Deux-Jumeaux; près de Louvres; dans la forêt de Pontarmé; à Sèvres; à Maulle-sur-Maudre, etc.

Tantôt ils semblent remplacer entièrement la formation du calcaire, et offrent alors des bancs très-puissans, comme dans les environs de Pontoise, à Essainville et à Beauchamp près de Pierrelaie.

Parmi les coquilles très-variées que renferment ces grès, il en est plusieurs qui paroissent être de la même espèce que celles du dépôt de Grignon, d'autres en diffèrent un peu; et, quoique cette différence soit légère, elle nous semble assez grande pour indiquer que les animaux des coquilles du grès marin et ceux des coquilles de Grignon ont vécu dans des circonstances un peu différentes.

Nous donnons dans la liste suivante les noms des espèces qui nous ont paru être le plus constamment dans ce grès, et le caractériser pour ainsi dire par leur présence.

FOSSILES.	LIEUX.
Calyptræa trochiformis?	Pierrelaie.
Oliva laumontiana.	Pierrelaie, Triel.
Ancilla canalifera	Triel.
Voluta Harpula?	Triel.
Fusus bulbiformis?	Pierrelaie.
Cerithium serratum.	Pierrelaie.
— *tuberculosum*	Essainville.
— *coronatum.*	Pierrelaie.
— *lapidum.*	Pierrelaie.
— *mutabile.*	Pierrelaie.

FOSSILES.	LIEUX.
Ampullaria acuta, ou *spirata* ? . .	Pierrelaie, Triel.
— *patula* ? mais très-petite . . .	Pierrelaie.
Nucula deltoidea ?	Pierrelaie.
Cardium Lima ?	Pierrelaie, Triel.
Venericardia imbricata	Pierrelaie, Triel.
Cytherea nitidula	Triel.
— *elegans* ?	Triel, Pierrelaie.
— *tellinaria*	Pierrelaie.
Venus callosa ?	Pierrelaye.
Lucina circinaria	Essainville.
— *saxorum*.	

Deux espèces d'huîtres encore indéterminées, l'une voisine de l'*ostrea deltoidea*, et l'autre de l'*ostrea cymbula*. Elles sont de Pierrelaie, et il paroît qu'elles se trouvent aussi à Triel.

On voit par cette énumération, 1°. qu'il y a beaucoup moins d'espèces dans ces grès que dans les couches de Grignon; 2°. que ce n'est qu'avec doute que nous avons appliqué à la plupart de ces espèces les noms sous lesquels M. de Lamark a décrit celles de Grignon.

C'est dans ce grès et à Pierrelaie que MM. Gillet de Laumont et Beudan ont reconnu des coquilles de terre et d'eau douce (des limnées et des cyclostomes bien caractérisés) mêlées avec les coquilles marines nommées ci-dessus. Nous reviendrons sur ce fait remarquable dans le second chapitre (1); mais nous devons déjà faire observer,

(1) Nous ne donnerons point d'énumération particulière des lieux où se présente ce grès, nous les avons cités presque tous dans cet article. Nous décrirons ses gissemens les plus remarquables en décrivant les collines calcaires ou les collines gypseuses dans lesquelles il se trouve.

1°. que les grès de Pierrelaie sont placés immédiatement au-dessous du calcaire d'eau douce ; 2°. qu'ils renferment des cailloux roulés qui indiquent un rivage, ou au moins un fond peu éloigné des côtes.

Il résulte des observations que nous venons de rapporter, 1°. que les fossiles du calcaire grossier ont été déposés lentement et dans une mer tranquille, puisque ces fossiles s'y trouvent par couches régulières ; qu'ils ne sont point mêlés, et que la plupart y sont dans un état de conservation parfaite, quelque délicate que soit leur structure, puisque les pointes même des coquilles épineuses sont très-souvent entières ; 2°. que ces fossiles sont entièrement différens de ceux de la craie ; 3°. qu'à mesure que les couches de cette formation se déposoient, les espèces ont changé, qu'il y en a plusieurs qui ont disparu, tandis qu'il en a paru de nouvelles, ce qui suppose une assez longue suite de générations d'animaux marins ; enfin, que le nombre des espèces de coquilles a toujours été en diminuant, jusqu'au moment où elles ont totalement disparu. Les eaux qui déposoient ces couches, ou n'ont plus renfermé de coquilles, ou ont perdu la propriété de les conserver.

Certainement les choses se passoient dans ces mers bien autrement qu'elles ne se passent dans nos mers actuelles : dans celles-ci il paroît qu'il ne se forme plus de couches solides ; les espèces de coquilles y sont toujours les mêmes dans les mêmes parages. Par exemple, depuis que l'on pêche des huîtres sur la côte de Cancale, des Avicules à perles dans le golfe Persique, etc. on

ne voit pas que ces coquilles aient disparu pour être remplacées par d'autres espèces (1).

Art. IV. — *Du calcaire siliceux.*

La formation dont nous allons parler est dans une situation géologique parallèle, pour ainsi dire, à celle du calcaire marin. Elle n'est située ni au-dessous d'elle, ni au-dessus, mais à côté, et semble en tenir la place dans l'immense étendue de terrain qu'elle recouvre à l'est et au sud-est de Paris.

Ce terrain est placé immédiatement au-dessus des argiles plastiques. Il est formé d'assises distinctes, de calcaire tantôt tendre et blanc, tantôt gris et compact, et à grain très-fin, pénétré de silex qui s'y est infiltré dans tous les sens et dans tous les points. Comme il est souvent caverneux, ce silex, en s'infiltrant dans ces cavités, en a tapissé les parois de stalactites mamelonées, diversement colorées, ou de cristaux de quartz très-courts et presque sans prisme, mais nets et limpides. Cette disposition est très-remarquable à Champigny. Ce calcaire compacte, ainsi pénétré de silex, donne, par la cuisson, une chaux d'une très-bonne qualité.

---

(1) L'un de nous a fait quelques recherches sur la connoissance qu'on peut acquérir de la nature de certains fonds de mer dans les temps historiques les plus reculés. Ces recherches, qu'on ne peut faire connoître ici, paroissent prouver que depuis environ 2000 ans le fond de ces mers n'a point changé, qu'il n'a été recouvert par aucune couche, et que les espèces de coquilles qu'on y pêchoit alors, y vivent et s'y pêchent encore aujourd'hui.

Mais le caractère distinctif de cette formation singulière, de cette formation que personne n'avoit remarquée avant nous, quoiqu'elle couvre une étendue de terrain considérable, c'est de ne renfermer aucun fossile ni marin, ni fluviatile; du moins nous n'avons pu en découvrir aucun dans le grand nombre de places où nous l'avons examinée avec la plus scrupuleuse attention.

C'est dans ce terrain que se trouve une des sortes de pierres connues sous le nom de meulières, et qui semblent avoir été la carcasse siliceuse du calcaire siliceux. Le silex dépouillé de sa partie calcaire par une cause inconnue, a dû laisser et laisse en effet des masses poreuses, mais dures, dont les cavités renferment encore de la marne argileuse et qui ne présentent aucune trace de stratification; nous avons fait de véritables meulières artificielles en jetant du calcaire siliceux dans de l'acide nitrique. Il ne faut pas cependant confondre ces meulières avec celles dont il va être question dans le huitième article. Nous ferons connoître dans la seconde partie les divers cantons qui sont formés de ce calcaire. Nous terminerons son histoire générale en disant qu'il est souvent à nu à la surface du sol, mais que souvent aussi il est recouvert de marnes argileuses, de grès sans coquilles, et enfin de terrain d'eau douce. Telle est la structure du sol de la forêt de Fontainebleau.

Art. V et VI. — *Du gypse, de la première formation d'eau douce et des marnes marines.*

Le terrain dont nous allons tracer l'histoire est un des exemples le plus clairs de ce que l'on doit entendre par formation. On va y voir des couches très-différentes les unes des autres par leur nature chimique, mais évidemment formées ensemble.

Le terrain que nous nommons gypseux n'est pas seulement composé de gypse, il consiste en couches alternatives de gypse et de marne argileuse et calcaire. Ces couches ont suivi un ordre de superposition qui a été toujours le même dans la grande bande gypseuse que nous avons étudiée, depuis Meaux jusqu'à Triel et Grisy. Quelques couches manquent dans certains cantons; mais celles qui restent sont toujours dans la même position respective.

Le gypse est placé immédiatement au-dessus du calcaire marin, et il n'est pas possible de douter de cette superposition. La position des carrières de gypse de Clamart, de Meudon, de Ville-d'Avray, au-dessus du calcaire grossier qu'on exploite aux mêmes lieux; celle des carrières de la montagne de Triel, dont la superposition est encore plus évidente; un puits creusé dans le jardin de M. Lopès, à Fontenay-aux-Roses, et qui a traversé d'abord le gypse et ensuite le calcaire; enfin l'inspection que nous avons faite par nous-mêmes des couches que traversent les puits des carrières à pierre qui sont situées

au pied de la butte de Bagneux, sont des preuves plus que suffisantes de la position du gypse sur le calcaire.

Les collines ou buttes gypseuses ont un aspect particulier qui les fait reconnoître de loin; comme elles sont toujours placées sur le calcaire, elles forment sur les collines les plus hautes, comme une seconde colline allongée ou conique très-distincte.

Nous ferons connoître les détails de cette formation, en prenant pour exemples les montagnes qui présentent l'ensemble de couches le plus complet; et quoique Montmartre ait été déjà bien visité, c'est encore le meilleur et le plus intéressant exemple que nous puissions choisir.

On reconnoît, tant à Montmartre que dans les collines qui semblent en faire la suite, trois masses de gypse. La plus inférieure est composée de couches alternatives et peu épaisses de gypse souvent séléniteux (1), de marnes calcaires solides et de marnes argileuses très-feuilletées. C'est dans les premières que se voient principalement les gros cristaux de gypse jaunâtre lenticulaire, et c'est dans les dernières que se trouve le silex ménilite. Il paroît que les parties inférieures de cette masse ont été déposées tantôt à nu sur le sable calcaire marin coquillier, et alors elles renferment des coquilles marines, comme l'ont reconnu à Montmartre MM. Desmarest, Coupé, etc. (2),

---

(1) C'est-à-dire mêlé de cristaux de gypse d'une forme déterminable.

(2) Voyez dans les chapitres suivans, à l'article de Montmartre, les détails relatifs à ces coquilles.

tantôt

tantôt sur un fond de marne blanche, renfermant une grande quantité de coquilles d'eau douce, et qui avoit d'abord recouvert le sol marin. Cette seconde circonstance nous semble prouvée par deux observations faites, l'une à Belleville par M. Héricart de Thury, et l'autre par nous à la rue de Rochechouart. En creusant des puits dans ces deux endroits on traverse les dernières couches de la basse masse, et on trouve dans les parties inférieures de cette masse un banc puissant de cette marne blanche d'eau douce, dont nous venons de parler. Au-dessous de ce banc on arrive aux premières assises de la formation de calcaire marin (1).

La seconde masse, ou la masse intermédiaire, ne diffère de la précédente, que parce que les bancs gypseux sont plus épais, que les couches marneuses y sont moins multipliées. On doit remarquer parmi ces marnes celle qui est argileuse, compacte, gris-marbré, et qui sert de pierre à détacher. C'est principalement dans cette masse qu'on a trouvé les poissons fossiles. On n'y connoît point d'ailleurs d'autres fossiles. Mais on commence à y trouver la strontiane sulfatée; elle est en rognons épars à la partie inférieure de la marne marbrée.

La masse superficielle, que les ouvriers nomment la première, est à tous égards la plus remarquable et la plus importante; elle est d'ailleurs beaucoup plus puis-

---

(1) On donnera les détails des couches qu'a traversé le puits de la rue de Rochechouart, dans le second chapitre, art. 3.

sante que les autres, puisqu'elle a dans quelques endroits jusqu'à 20 mètres d'épaisseur; elle n'est altérée que par un petit nombre de couches marneuses; et dans quelques endroits, comme à Dammartin, à Montmorency, elle est située presque immédiatement au-dessous de la terre végétale.

Les bancs de gypse les plus inférieurs de cette première masse renferment des silex qui semblent se fondre dans la matière gypseuse et en être pénétrés. Les bancs intermédiaires se divisent naturellement en gros prismes à plusieurs pans. M. Desmarest les a fort bien décrits et figurés; on les nomme les *hauts pilliers;* enfin les bancs les plus supérieurs, appelés *chiens*, sont pénétrés de marne : ils sont peu puissans, et alternent avec des couches de marne. Il y en a ordinairement cinq qui se continuent à de grandes distances.

Mais ces faits déjà connus ne sont pas les plus importans; nous n'en parlons que pour les rappeler et mettre de l'ensemble dans notre travail. Les fossiles que renferme cette masse et ceux que contient la marne qui le recouvre, présentent des observations d'un tout autre intérêt.

C'est dans cette première masse qu'on trouve journellement des squelettes et des ossemens épars d'oiseaux et de quadrupèdes inconnus. Au nord de Paris, ils sont dans la masse gypseuse même : ils y ont conservé de la solidité, et ne sont entourés que d'une couche très-mince de marne calcaire; mais dans les carrières du midi ils

sont souvent dans la marne qui sépare les bancs gypseux; ils ont alors une grande friabilité. Nous ne parlerons pas de la manière dont ils sont situés dans la masse, sur leur état de conservation, sur leurs espèces, etc.; ces objets ont été suffisamment développés dans les Mémoires de l'un de nous. On a aussi trouvé dans cette masse des os de tortue et des squelettes de poisson.

Mais ce qui est bien plus remarquable et beaucoup plus important par les conséquences qui en résultent, c'est qu'on y trouve, quoique très-rarement, des coquilles d'eau douce. Au reste une seule suffit pour démontrer la vérité de l'opinion de Lamanon et de quelques autres naturalistes qui pensent que les gypses de Montmartre et des autres collines du bassin de Paris se sont cristallisés dans des lacs d'eau douce. Nous allons rapporter dans l'instant de nouveaux faits confirmatifs de cette opinion.

Enfin cette masse supérieure est essentiellement caractérisée par la présence des squelettes de mammifères. Ces ossemens fossiles servent à la faire reconnoître lorsqu'elle est isolée; car nous n'avons jamais pu en trouver, ni constater qu'on en ait trouvé dans les masses inférieures.

Au-dessus du gypse sont placés de puissans bancs de marne tantôt calcaire, tantôt argileuse.

C'est dans les lits inférieurs, et dans une marne calcaire blanche et friable, qu'on a rencontré à diverses reprises des troncs de palmier pétrifiés en silex. Ils étoient

couchés et d'un volume considérable. C'est dans ce même système de couche qu'on a trouvé dans presque toutes les carrières de la butte Chaumont et même dans les carrières de l'est de Montmartre, des coquilles du genre des limnées et des planorbes qui diffèrent à peine des espèces qui vivent dans nos marres. Ces fossiles prouvent que ces marnes sont de formation d'eau douce, comme les gypses qui sont au-dessous.

Les gypses, les bancs de marne qui les séparent, et celles qui les recouvrent jusqu'à la marne blanche que nous venons de décrire inclusivement, constituent la première ou la plus ancienne formation d'eau douce des environs de Paris. On voit que c'est dans la marne calcaire blanche que se trouvent principalement les coquilles d'eau douce qui caractérisent cette formation. On ne connoît d'ailleurs, dans cette première formation d'eau douce, ni meulière ni d'autres silex que les menilites et que les silex cornés des dernières assises de gypse de la haute masse.

Au-dessus de ces marnes blanches se voient encore des bancs très-nombreux et souvent puissans de marnes argileuses ou calcaires. On n'y a encore découvert aucun fossile; nous ne pouvons donc dire à quelle formation elles appartiennent.

On trouve ensuite un banc d'une marne jaunâtre feuilletée qui renferme vers sa partie inférieure des rognons de strontiane sulfatée terreuse, et un peu au-dessus, un lit mince de petites coquilles bivalves qui sont couchées et serrées les unes contre les autres. Nous rapportons ces

coquilles au genre cythérée (1). Ce lit, qui semble avoir bien peu d'importance, est remarquable, premièrement par sa grande étendue ; nous l'avons observé sur un espace de plus de dix lieues de long, sur plus de quatre de large, toujours dans la même place et de la même épaisseur. Il est si mince, qu'il faut savoir exactement où on doit le chercher pour le trouver. Secondement, parce qu'il sert de limite à la formation d'eau douce, et qu'il indique le commencement d'une nouvelle formation marine.

En effet, toutes les coquilles qu'on rencontre au-dessus de celles-ci sont marines. Ce banc de marne jaune feuilletée a environ un mètre d'épaisseur, et contient souvent entre ses feuillets supérieurs des cythérées d'une autre espèce, des cérites, des spirobes et des os de poissons.

On trouve d'abord, et immédiatement après, et toujours en montant, un banc puissant et constant de marne argileuse verdâtre qui, par son épaisseur, sa couleur et sa continuité, se fait reconnoître de loin. Il sert de guide pour arriver aux coquilles bivalves, puisque c'est au-dessous de lui qu'on les trouve. Il ne renferme d'ailleurs aucun fossile, mais seulement des géodes argilo-calcaires et des rognons de strontiane sulfatée. Cette marne est employée dans la fabrication de la faïence grossière.

Les quatre ou cinq bancs de marne qui suivent les

---

(1) Nous déduirons dans le second chapitre les raisons qui nous ont dirigés dans la détermination de ces coquilles fossiles.

marnes vertes sont peu épais, et ne paroissent pas non plus contenir de fossiles; mais ces lits sont immédiatement recouverts d'une couche de marne argileuse jaune qui est pétrie de débris de coquillages marins dont les espèces appartiennent aux genres cérites, trochus, mactres, vénus, cardium, etc. On y rencontre aussi des fragmens de palais d'une Raie qui paroît être analogue à la Raie-aigle et des portions d'aiguillon de la queue d'une Raie voisine de la pastenague.

Les couches de marne qui suivent celle-ci présentent presque toutes des coquilles fossiles marines, mais seulement des bivalves; et les dernières couches, celles qui sont immédiatement au-dessous du sable argileux, renferment deux bancs d'huîtres assez distincts. Le premier et le plus inférieur est composé de grandes huîtres très-épaisses : quelques-unes ont plus d'un décimètre de longueur. Vient ensuite une couche de marne blanchâtre sans coquilles, puis un second banc d'huîtres très-puissant, mais subdivisé en plusieurs lits. Ces huîtres sont brunes, beaucoup plus petites et beaucoup plus minces que les précédentes. Ces derniers bancs d'huîtres sont d'une grande constance, et nous ne les avons peut-être pas vu manquer deux fois dans les nombreuses collines de gypse que nous avons examinées. Il nous paroît presque sûr que ces huîtres ont vécu dans le lieu où on les trouve aujourd'hui; car elles sont collées les unes aux autres comme dans la mer, la plupart sont bien entières et si on les extrait avec soin on remarque que beaucoup d'entre elles ont leurs deux valves. Enfin M. Defrance a

trouvé près de Roquencourt, à la hauteur de la formation des marnes gypseuses marines, des morceaux arrondis de calcaire marneux coquillier, percés de pholades, et portant encore les huîtres qui y étoient attachées (1). La formation gypseuse est souvent terminée par une masse plus ou moins épaisse de sable argileux qui ne renferme aucune coquille.

Telles sont les couches qui composent généralement la formation gypseuse. Nous étions tentés de la diviser en deux, et de séparer l'histoire des marnes marines du sommet, de celle du gypse et des marnes d'eau douce du fond; mais les couches sont tellement semblables les unes aux autres, elles s'accompagnent si constamment, que nous avons cru devoir nous contenter d'indiquer cette division. Nous réunissons dans le tableau suivant les espèces de fossiles qui appartiennent au gypse et à la formation marine qui le surmonte.

---

(1) Il paroît que la présence des huîtres dans les marnes gypseuses ne s'observe pas seulement à Montmartre. Les marnes qui recouvrent le gypse des environs d'Oxfort renferment aussi de grandes huîtres couvertes de cristaux de sélénite.

Fossiles du gypse et des marnes marines qui le recouvrent.

FORMATION D'EAU DOUCE.

MASSE GYPSEUSE. MAMMIFÈRES	*Paleotherium magnum.*
	— *medium.*
	— *crassum.*
	— *curtum.*
	— *minus.*
	Anoplotherium commune.
	— *secundarium.*
	— *medium.*
	— *minus.*
	— *minimum.*
	Un pachyderme voisin des cochons.
	Canis parisiensis.
	Didelphis parisiensis.
	Viverra parisiensis.
OISEAUX.	Oiseaux, 3 à 4 espèces.
REPTILES	*Trionix parisiensis* et une autre Tortue.
	Une espèce de Saurien, qui paroît un Crocodile.
POISSONS	Poissons, 3 à 4 espèces.
MOLLUSQUES.	*Cyclostoma mumia* . . . L'individu que nous possédons est noir.
MARNES BLANCHES SUPÉRIEURES. . . .	Palmier.
	Débris de poissons.
	Limnées.
	Planorbes.

MARNES

FORMATION MARINE.

MARNES JAUNES FEUILLETÉES	Cythérées bombées, n° 1, (fig. 7. A. B.) . . . Spirorbes (fig. 7. S.) . . Os de poisson . . . . . *Cerithium plicatum* . . . Spirorbes . . . . Cythérées planes, n° 2, (fig. 8.) . . . . . . Os de poisson	On ne trouve ordinairement que les moules intérieurs et extérienrs de ces coquilles, le test a presqu'entièrement disparu, ou s'est réduit en un calcaire blanc pulvérulent.
MARNES VERTES. .	Point de fossiles.	
MARNES JAUNES MÊLÉES DE MARNES FEUILLETÉES BRUNES.	Aiguillons et palais de raie. *Ampullaria patula ?* . . . *Cerithium plicatum.* . . — *cinctum* . . . . . . *Cytherea elegans.* . . . — *semisulcata ? ?* . . . *Cardium obliquum* . . . *Nucula margaritacea*	Presque toutes ces coquilles sont écrasées et difficiles à reconnoître. Les deux cérites de la formation marine qui recouvre le gypse, paroissent ne se trouver que dans cette formation : nous ne les avons pas encore vues dans le calcaire de la formation marine inférieure.
MARNES CALCAIRES A GRANDES HUITRES. . .	*Ostrea Hippopus.* . . . — *Pseudochama.* . . . — *longirostris* . . . . — *canalis.*	Les deux bancs d'huîtres sont souvent séparés par des marnes sans coquilles; mais nous ne pouvons pas encore dire exactement quelles sont les espèces qui appartiennent à chaque banc, et si même elles ne s'y trouvent pas indistinctement; nous pouvons toutefois avancer que les huîtres des marnes gypseuses ne se trouvent point dans le calcaire inférieur, et qu'elles sont généralement bien plus semblables aux huîtres de nos côtes que celles du calcaire grossier.
MARNES CALCAIRES A PETITES HUITRES. . . .	— *Cochlearia* . . . . . — *Cyathula.* . . . . . — *spatulata.* . . . . . — *Linguatula.* . . . . Balanes. . . . . Pattes de crabes.	

Il nous reste à dire quelques mots sur les principales différences qu'offrent les collines qui appartiennent à cette formation. Les collines gypseuses forment comme une espèce de longue et large bande qui se dirige du sud-est au nord-ouest, sur une largeur de six lieues environ. Il paroît que dans cette zone il n'y a que les collines du centre qui présentent distinctement les trois masses de gypse. Celles des bords, telles que les plâtrières de Clamart, Bagneux, Antoni, le Mont-Valérien, Grisy, etc., et celles des extrémités, telles que les plâtrières de Chelles et de Triel ne possèdent qu'une masse. Cette masse nous paroît être analogue à celle que les carriers nomment la première, c'est-à-dire la plus superficielle, puisqu'on y trouve les os fossiles de mammifères qui la caractérisent, et qu'on ne rencontre pas dans ses marnes ces gros et nombreux cristaux de gypse lenticulaire qu'on observe dans les marnes de la seconde et de la troisième masse.

Quelquefois les marnes du dessus manquent presque entièrement; quelquefois c'est le gypse lui-même qui manque totalement ou qui est réduit à un lit mince. Dans le dernier cas, la formation est représentée par les marnes vertes accompagnées de strontiane. Les formations gypseuses du parc de Versailles, près de Saint-Cyr, celles de Viroflay, sont dans la premier cas; celles de Meudon, de Ville-d'Avray, sont dans le second cas.

Nous devons rappeler ici ce que l'un de nous a dit ailleurs (1), c'est que le terrain gypseux des environs

(1) Brongniart, *Traité élémentaire de minéralogie*, t. I, p. 177.

de Paris ne peut se rapporter exactement à aucune des formations décrites par M. Werner ou par ses disciples. Nous en avons alors déduit les raisons qu'il est inutile de répéter.

Art. VII. — *Du sable et des grès sans coquilles.*

Le grès sans coquille est une des dernières formations. Il recouvre constamment les autres, et n'est ordinairement recouvert que par les meulières sans-coquilles, et par la formation du terrain d'eau douce (1). Ses bancs sont souvent très-épais et entremêlés de bancs de sable de même nature que lui. Le sable qui supporte les bancs supérieurs, a été quelquefois entraîné par les eaux; les bancs se sont alors rompus et ont roulé sur les flancs des collines qu'ils formoient: tels sont les grès de la forêt de Fontainebleau, ceux de Palaiseau, etc.

Non-seulement ce grès et ce sable ne contiennent point de fossiles, mais ils sont souvent très-purs et fournissent des sables estimés dans les arts, et qu'on va recueillir à Etampes, à Fontainebleau, à la butte d'Aumont, et dans ce cas ils donnent naissance aux grès solides. Ils sont cependant quelquefois ou altérés par un mélange d'argile, ou colorés par des oxides de fer; tels sont la plupart des sables des hauteurs de Montmorency, de Meudon, du Plessis-Piquet, de Fontenay-aux-Roses, etc.

---

(1) Il paroît cependant, comme nous allons le dire dans l'article suivant, qu'il a été recouvert dans quelques lieux par une formation marine de grès ou ou de calcaire.

ou imprégnés de chaux carbonatée qui les a pénétrés par infiltration lorsqu'ils sont recouverts du terrain calcaire d'eau douce; tel est le cas des grès de plusieurs parties de la forêt de Fontainebleau.

ART. VIII. *Des sables et des grès marins supérieurs.*

Ce grès, ou plutôt cette dernière formation marine de nos cantons est placée au-dessus des gypses, des marnes marines, et même au-dessus des sables et des grès sans coquilles. Il varie de couleur, de solidité, et même de nature; tantôt c'est un grès pur, mais friable et rougeâtre (Montmartre); tantôt c'est un grès rouge et argileux (Romainville); tantôt c'est un grès gris (Levignan); enfin il est quelquefois remplacé par une couche mince de calcaire sableux, rempli de coquilles, qui recouvre de grandes masses de grès gris dur et sans aucune coquille (Nanteuil-le-Haudouin).

Ce grès renferme des coquilles marines d'espèces assez variées et assez semblables à celles des bancs inférieurs du calcaire; quelquefois le test de la coquille a entièrement disparu, et il n'en reste plus que le moule (Montmartre, Romainville).

Ce qui nous fait dire que cette dernière formation marine est non-seulement supérieure à celle du gypse, mais encore aux bancs étendus et souvent très-puissans de grès et de sable sans coquilles. C'est premièrement sa position bien évidente au-dessus des masses de grès de Nanteuil-le-Haudouin, et en second lieu la masse con-

sidérable de sable rougeâtre dénué de tout fossile, sur laquelle elle est placé à Montmartre, à Romainville, à Sanois, etc.

Les coquilles que renferme ce grès sont quelquefois différentes de celles qu'on trouve dans la formation marine inférieure, et se rapprochent davantage de celles des marnes calcaires qui surmontent le gypse, ainsi que le fait voir la liste suivante.

Coquilles de la formation marine la plus supérieure.

Oliva mitreola.	Nanteuil-le-Haudouin.
Fusus? voisin du *longævus*. . . .	Romainville.
Cerithium cristatum	Montmartre, Romainville.
— *lamellosum*	Levignan.
— *mutabile?*	Montmartre.
Solarium? Lam. pl. VIII, fig. VII . .	Montmartre.
Melania costellata?	Montmartre.
Melania?	Nanteuil-le-Haudouin.
Pectunculus pulvinatus	Montmartre.
Crassatella compressa?	Montmartre.
Donax retusa?	Montmartre.
Citherea nitidula.	Montmartre.
— *lævigata*.	Montmartre.
— *elegans?*	Montmartre, Nanteuil-le-Haudouin.
Corbula rugosa	Montmartre.
Ostrea flabellula	Montmartre.

Il y a donc aux environs de Paris trois sortes de grès, quelquefois très-semblables entre eux par leurs caractères minéralogiques, mais très-différens par leur position ou par leurs caractères géologiques. Le premier, le plus inférieur, fait partie des couches de la formation du calcaire marin grossier, et renferme généralement

les mêmes espèces de coquilles que ce calcaire. Le second surmonte la formation gypseuse et même la formation de marne marine qui le recouvre, c'est le plus étendu; il est quelquefois entièrement superficiel, et ne renferme aucune coquille. Le troisième n'est recouvert que par la dernière formation d'eau douce, et suit immédiatement le second. Il est beaucoup plus rare que les deux autres, et renferme comme le premier un grand nombre de coquilles marines.

En observant cette dernière formation marine, placée dans une position si différente des autres, on ne peut s'empêcher de réfléchir aux singulières circonstances qui ont dû présider à la formation des couches que nous venons d'examiner. En reprenant ces couches depuis la craie, on se représente d'abord une mer qui dépose sur son fond une masse immense de craie et des mollusques d'espèces particulières. Cette précipitation de craie et des coquilles qui l'accompagnent cesse tout-à-coup; des couches d'une toute autre nature lui succèdent, et il ne se dépose d'abord que de l'argile et du sable: mais bientôt une autre mer où la même produisant de nouveaux habitans, nourrit une prodigieuse quantité de mollusques testacés, tous différens de ceux de la craie; elle forme sur son fond des bancs puissans, composés en grande partie des enveloppes testacées de ces mollusques. Peu à peu cette production de coquilles diminue et cesse aussi tout-à-fait; la mer se retire et le sol se couvre d'eau douce; il se forme des couches alternatives de gypse et de marne qui enveloppent et les débris des

animaux que nourrissoient ces lacs, et les ossemens de ceux qui vivoient sur leurs bords.

La mer revient; elle nourrit d'abord quelques espèces de coquilles bivalves et de coquilles turbinées. Ces coquilles disparoissent et sont remplacées par des huîtres. Il se passe ensuite un intervalle de temps pendant lequel il se dépose une grande masse de sable. On doit croire ou qu'il ne vivoit alors aucun corps organisé dans cette mer, ou que leurs dépouilles ont été complètement détruites; car on n'en voit aucun débris dans ce sable; mais les productions variées de la seconde mer inférieure reparoissent, et on retrouve au sommet de Montmartre, de Romainville, de la colline de Nanteuil-le-Haudouin, etc. les mêmes coquilles qu'on a trouvées dans les couches moyennes du calcaire grossier.

Enfin la mer se retire entièrement pour la seconde fois; des lacs ou des mares d'eau douce la remplacent et couvrent des débris de leurs habitans presque tous les sommets des côteaux et les surfaces même de quelques-unes des plaines qui les séparent.

Art. IX. — *Formation des meulières sans coquilles.*

Quoiqu'il y ait quelquefois très-peu de différence entre la nature des couches qui constituent cette formation et celles de la septième, il y a dans la plupart des cas des différences trop nombreuses et trop importantes pour qu'on puisse les regarder comme les mêmes.

Ces deux formations se trouvent tantôt réunies dans

ce même lieu, et tantôt séparées. Dans le premier cas, qui n'est pas le plus fréquent, les meulières sont supérieures aux sables qui renferment les grès. Cette superportion est très-distincte sur les talus qui bordent la grande route de Chartres, à la descente du bois de Sainte-Apolline au village de Pontchartrain.

La formation des meulières consiste en sable argilo-ferrugineux, en marne argilleuse verdâtre, rougeâtre, ou même blanche, et en meulière proprement dite. Ces trois substances ne paroissent suivre aucun ordre dans leur superposition ; la meulière est tantôt dessus, tantôt dessous et tantôt au milieu, ou du sable ou de la marne argileuse.

La meulière est, comme on sait, un silex criblé d'une multitude de cavités irrégulières, garnies de filets siliceux, disposés à peu-près comme le tissu réticulaire des os, et tapissées d'un enduit d'ocre rouge. Ces cavités sont souvent remplies de marne argilleuse ou de sable argilleux. Elles ne communiquent point entre elles.

La plupart des meulières des environs de Paris ont une teinte rougeâtre, rosâtre et jaunâtre, quelques-unes, et ce sont les plus rares et les plus estimées, sont blanchâtres, avec une nuance bleuâtre.

Nous ne connoissons dans les meulières dont il est ici question, ni infiltration siliceuse mamelonée à la manière des calcédoines, ni cristallisation de quartz, et ce caractère nous paroît assez bon pour les faire distinguer hors de place des meulières du calcaire siliceux. Elles sont cependant quelquefois comme ces dernières, presque compactes.

Lorsqu'on

Lorsqu'on choisit dans une masse de meulière une partie compacte et exempte de terres étrangères mélangées, on reconnoît par l'analyse qu'elle est presque entièrement composée de silice (1).

Mais un autre caractère géologique des meulières proprement dites, c'est l'absence de tout corps organisé animal ou végétal, marin ou d'eau douce. Nous n'en avons jamais vu aucun; Guettard et M. Coquebert-Montbret, dans les descriptions qu'ils ont données, le premier, des meulières d'Houlbec, et le second, de celles des Molières, font la même observation, ce qui doit inspirer beaucoup de confiance dans la généralité de ce caractère, quoiqu'il soit négatif.

La formation des meulières repose assez souvent sur un banc de marne argileuse, qui paroît appartenir à la formation du gypse; dans quelques endroits elle est séparée par un banc plus ou moins puissant de sable ou de grés sans coquilles.

Elle n'est quelquefois recouverte que par la terre végétale, mais souvent on trouve encore au-dessus d'elle tantôt la formation d'eau douce qui consiste, comme on va le voir, en marne calcaire et en silex très-semblable par son aspect et par ses usages aux meulières que nous décrivons, tantôt on trouve le terrain d'attérissement ancien, consistant en cailloux roulés dans un sable à gros grains, comme à Houlbec, près de Pacy-sur-Eure.

(1) Hecht. Journ. des Min. nº 22, page 333.

Art. X. — *De la seconde formation des terrains d'eau douce.*

Nous avons déjà parlé, art. V, d'un terrain qui a été certainement formé dans l'eau douce, puisque presque tous les fossiles qu'il renferme appartiennent à des animaux analogues à ceux qui vivent actuellement dans les lacs. Ce terrain assez profond, composé de gypse et de marne, est séparé par une puissante formation marine, d'un autre terrain d'eau douce qui est superficiel, et que nous allons décrire dans cet article.

Le second terrain d'eau douce est composé aux environs de Paris de deux sortes de pierre, de silex et de calcaire.

Tantôt ces deux pierres se présentent indépendamment l'une de l'autre, tantôt elles sont mêlées et comme pétries ensemble.

Le calcaire d'eau douce à peu près pur, est le plus commun; le mélange de silex et de calcaire vient ensuite; les grandes masses de silex d'eau douce sont les plus rares.

Ce silex est tantôt du silex pyromaque pur et transparent (Triel); tantôt un silex opaque, quelquefois à cassure résineuse (Saint-Ouen, le Bourget), quelquefois à cassure largement conchoïde et terne, semblable à celle du jaspe (Triel); tantôt enfin c'est un silex carié qui a tous les caractères de la meulière proprement dite, mais qui est généralement plus compacte que la meulière sans coquilles (forêt de Montmorency, Saint-Cyr, etc.).

Quoique les caractères extérieurs du calcaire d'eau douce soient peu tranchés, ils sont cependant assez remarquables, lorsqu'ils existent. Il suffit souvent d'avoir acquis l'habitude de voir ce calcaire pour en reconnoître des fragmens présentés isolément, et privés des coquilles qui le caractérisent essentiellement.

Tout celui que nous connoissons aux environs de Paris est blanc ou d'un gris jaunâtre, il est tantôt tendre et friable comme de la marne et de la craie, tantôt compacte, solide, à grain fin et à cassure conchoïde; quoique dans ce dernier cas il soit assez dur, il se brise facilement et éclate en fragmens à bords aigus à la manière du silex, en sorte qu'il ne peut pas se laisser tailler.

Nous ne parlons ici que du calcaire des environs de Paris; car à une plus grande distance on trouve du calcaire très-compacte d'un gris brun qui se laisse très-bien tailler et polir, malgré les infiltrations spathiques qui l'ont pénétré et qui n'ont pas entièrement rempli les cavités: le calcaire de Mont-Abusar, près d'Orléans, qui renferme des os de Paleotherium, appartient à la formation d'eau douce; le marbre de Château-Landon, qui est en bancs extrêmement puissans, renfermant des lymnées et des planorbes, et présentant tous les caractères attribués au calcaire d'eau douce, doit aussi être rapporté à cette formation.

Que ce calcaire soit marneux ou qu'il soit compacte, il fait voir très-souvent des cavités cylindriques irrégulières et à peu près parallèles, quoique sinueuses. On prendra une idée exacte de ces cavités, en se représentant

celles que devroient laisser dans une vase épaisse et tranquille des bulles de gaz qui monteroient pendant un certain temps de son fond vers sa surface : les parois de ces cavités sont souvent colorées en vert pâle.

Enfin le terrain d'eau douce est quelquefois composé de calcaire et de silex mêlés ensemble ; ce dernier est carié, caverneux, et ses cellules irrégulières sont remplies de la marne calcaire qui l'enveloppe (plaine de Trappe, Charenton).

Le calcaire d'eau douce, quelque dur qu'il paroisse au moment où on le retire de la carrière, a souvent la propriété de se désaggréger par l'influence de l'air et de l'eau ; de là vient l'emploi considérable qu'on en fait comme marne d'engrais dans la plaine de Trappe, près Versailles, dans celle de Gonesse et dans toute la Beauce.

Mais ce qui caractérise essentiellement cette formation, c'est la présence des coquilles d'eau douce et des coquilles terrestres presque toutes semblables pour les genres à celles que nous trouvons dans nos marais ; ces coquilles sont des limnées, des planorbes, des coquilles turbinées, voisines des cérites, des cyclostomes, des hélices, etc. On y trouve aussi ces petits corps ronds et cannelés que M. de Lamark a nommés *gyrogonite :* on n'en connoît plus l'analogue vivant, mais leur position nous indique que le corps organisé dont ils faisoient partie devoit vivre dans l'eau douce. Il est assez remarquable qu'on ne trouve point de bivalves dans ce terrain.

La plupart des coquilles renfermées dans ce terrain

ayant été décrites spécialement par l'un de nous (1), nous renverrons aux descriptions et aux figures qu'il en a données, et nous emploierons les noms qu'il leur a imposés, comme nous avons employé ceux de M. de Lamark à l'égard des coquilles marines.

Les fossiles qui appartiennent particulièrement au terrain d'eau douce supérieur, sont les suivans:

Cyclostoma elegans antiquum.
Potamides Lamarkii.
Planorbis rotundatus.
— *Cornu.*
— *prevostinus.*
Limneus corneus.
— *Fabulum.*
— *ventricosus.*
— *inflatus.*
Bulimus pygmeus.
— *Terebra.*
Pupa Defrancii.
Helix Lemani.
— *desmarestina.*
Des bois dicotylédons pétrifiés en silex.
Des tiges de graminées d'*arundo*, ou de *tipha*.
Des tiges articulées ressemblant à des épis, etc.
Des graines ovoïdes pédiculées.
Des graines cylindroïdes cannelées.
Des corps oliveïformes à surface cannelée irrégulièrement (2).

On ne trouve généralement d'autres coquilles que des coquilles d'eau douce et des coquilles terrestres dans ce terrain lorsqu'il est d'ailleurs assez éloigné du terrain

---

(1) M. Brongniart, *Annales du Muséum*, tom. XV, page 357.

(2) Voyez les descriptions et les figures de tous ces corps dans le Mémoire cité plus haut. *Ann. du Mus.*, tom. XV, page 381.

marin pour qu'il n'ait pu exister aucun mélange accidentel des deux sortes de productions. Quelque abondantes que soient ces coquilles, elles appartiennent toutes, comme dans nos marais actuels, à un petit nombre de genres et d'espèces ; dans quelque lieu et sous quelque étendue de terrain qu'on les observe, on n'y voit jamais cette multitude de genres et d'espèces différentes qui caractérisent les productions de la mer.

On a trouvé près de Pontoise un grès marin qui renferme dans ses bancs supérieurs des coquilles évidemment d'eau douce mêlées avec des coquilles marines. Lorsque nous décrirons le lieu où s'est présenté ce singulier mélange, nous essaierons d'en apprécier la cause et l'importance.

La seconde formation d'eau douce recouvre ordinairement toutes les autres, elle se trouve dans toutes les situations, mais cependant plutôt vers le sommet des collines et sur les grands plateaux que dans le fond des vallées ; quand elle existe dans ces derniers lieux, elle a été ordinairement recouverte par le sol d'attérissement qui constitue la dernière formation. Dans les plaines hautes et dans les vallées elle est ordinairement composée de calcaire ou marneux ou compacte, avec des noyaux siliceux (la Beauce, Trappe, le Ménil-Aubry, Melun, Fontainebleau); mais sur les sommets, en forme de plateaux qui terminent les collines gypseuses, on ne trouve souvent que le silex et la meulière d'eau douce (Triel, Montmorency, Sanois, etc.).

On remarque que la meulière d'eau douce forme un

banc peu épais placé presque immédiatement au-dessous de la terre végétale, et que ce banc est séparé du sable sans coquilles qui le porte par une couche mince de marne argileuse.

Nous rapportons à cette formation les sables des hauteurs qui renferment des bois et des parties de végétaux changées en silex; nous avons été portés à faire cette réunion en observant, au sommet des collines de Longjumeau, des sables qui renferment des bois et des végétaux silicifiés, mêlés avec des silex remplis de limnées, de planorbes, de potamides, etc.

Le terrain d'eau douce est extrêmement répandu, non-seulement aux environs de Paris jusqu'à trente lieues au sud, mais on le trouve encore dans d'autres parties de la France, l'un de nous l'a reconnu dernièrement dans le Cantal et dans le département du Puy-de-Dôme (1); il nous paroît assez étonnant d'après cela que si peu de Naturalistes y aient fait attention, nous ne connoissons que M. Coupé qui en ait fait une mention expresse (2).

La grande étendue de ce terrain aux environs de Paris, sa présence dans beaucoup d'autres lieux doit nécessai-

(1) Voyez les descriptions de ces terrains par M. Brongniart, *Annales du Muséum*, tom. XV, page 388.

(2) Bruguière avoit reconnu que les coquilles qu'on trouve si abondamment dans les meulières de la forêt de Montmorency étoient des coquilles d'eau douce.

Nous n'avons trouvé aucune observation dans les Minéralogistes étrangers qui puisse nous faire croire que cette formation qui n'est ni accidentelle, ni locale, ait été connue des Géologues de l'école de Freyberg.

rement faire admettre l'existence de grands amas d'eau douce dans l'ancien état de la Terre ; quand même nous n'aurions plus d'exemples de ces amas, il ne nous sembleroit pas plus difficile de croire qu'ils ont dû nécessairement exister, que d'admettre la présence de la mer sur le sol qui constitue actuellement notre continent, et que tant d'autres phénomènes géologiques inexplicables et cependant incontestables ; mais dans ce cas-ci nous avons encore sous nos yeux des exemples de lacs d'eau douce dont l'étendue en longueur égale presque celle de la France du nord au sud, et dont la largeur est immense. Il suffit de jeter les yeux sur une carte de l'Amérique septentrionale, pour être frappé de la grandeur des lacs Supérieur, Michighan, Huron, Erié et Ontario ; on voit que si les eaux douces actuelles avoient la propriété de déposer des couches solides sur leur fond, et que ces lacs vinssent à s'écouler, ils laisseroient un terrain d'une étendue bien plus considérable que tous ceux dont nous avons parlé ; ce terrain seroit composé non-seulement des coquilles d'eau douce que nous connoissons, mais peut-être aussi de biens d'autres productions dont nous n'avons aucune idée, et qui peuvent vivre dans le fond inconnu de masses d'eau douce aussi considérables.

Non-seulement la présence de ce terrain suppose des lacs immenses d'eau douce, mais il suppose encore dans ces eaux des propriétés que nous ne retrouvons plus dans celles de nos marais, de nos étangs et de nos lacs qui ne déposent que du limon friable. On n'a remarqué dans

dans aucune d'elles la faculté que possédoient les eaux douces de l'ancien monde de former des dépôts épais de calcaire jaunâtre et dur, de marnes blanches et de silex souvent très-homogènes, enveloppant tous les débris des corps organisés qui vivoient dans ces eaux, et les ramenant même à la nature siliceuse et calcaire de leur enveloppe.

Art. XI. — *Du limon d'atterrissement.*

Ne sachant comment désigner cette formation, nous lui avons donné le nom de *limon*, qui indique un mélange de matières déposées par les eaux douces. En effet, le limon d'atterrissement est composé de sable de toutes les couleurs, de marne, d'argile, ou même du mélange de ces trois matières imprégnées de carbone, ce qui lui donne un aspect brun et même noir. Il contient des cailloux roulés; mais ce qui le caractérise plus particulièrement, ce sont les débris des grands corps organisés qu'on y observe. C'est dans cette formation qu'on trouve de gros troncs d'arbres, des ossemens d'éléphans, de bœufs, d'élans et d'autres grands mammifères.

C'est aussi à cette formation qu'appartiennent les dépôts de cailloux roulés du fond des vallées, et ceux de quelques plateaux, tels que le bois de Boulogne, la plaine de Nanterre à Chatou, certaines parties de la forêt de Saint-Germain, etc. Ces terrains, quoique sablonneux, ne peuvent point être confondus avec le sable des hauteurs. Ils s'en distinguent par leur position plus basse, quoique d'une formation postérieure à celui-

ci, par les cailloux roulés qu'ils renferment, par les blocs de quartz, de grès, de silex cariés qui y sont dispersés, etc.

Le limon d'atterrissement a été déposé sur le fond des vallées et des bassins qui ont été creusés dans les terrains que nous venons de décrire. Il ne se trouve pas seulement dans le fond des vallées actuellement existantes, il a couvert des vallées ou des excavations qui depuis ont été remplies. On peut observer cette disposition dans la tranchée profonde qu'on a faite près de Sévran pour y faire passer le canal de l'Ourque. Cette tranchée a fait voir la coupe d'une ancienne cavité remplie des matières qui composent le limon d'atterrissement, et c'est dans cette espèce de fond de marais qu'on a trouvé des os d'éléphans et de gros troncs d'arbres.

C'est à l'existence de ces débris de corps organisés qui ne sont pas encore entièrement décomposés, qu'on doit attribuer les émanations dangereuses et souvent pestilentielles qui se dégagent de ces terres lorsqu'on les remue pour la première fois après cette longue suite de siècles qui s'est écoulée depuis leur dépôt; car il en est de cette formation qui paroît si moderne, comme de toutes celles que nous venons d'examiner. Quoique très-moderne en comparaison des autres, elle est encore antérieure aux temps historiques, et on peut dire que le limon de l'ancien monde ne ressemble en rien à celui du monde actuel, puisque les bois et les animaux qu'on y trouve sont entièrement différens, non seulement des animaux des contrées où on les trouve déposés, mais encore de tous ceux qu'on connoît jusqu'à présent.

DEUXIÈME CHAPITRE.

PREUVES ET DÉVELOPPEMENS. — *Description des diverses sortes de terrains qui constituent le sol des environs de Paris.*

Nous venons de faire connoître, dans la première partie de ce Mémoire, les caractères et l'ordre de superposition des différentes sortes de roches qui composent le terrain dont nous avons entrepris la description ; nous en avons exposé les caractères distinctifs et les principales propriétés, nous avons fait voir l'ordre dans lequel elles ont été placées les unes par rapport aux autres ; nous avons enfin indiqué quels sont les fossiles caractéristiques qu'elles renferment, et nous nous sommes contentés de donner quelques exemples pris des lieux où elles se montrent le plus facilement.

L'objet de cette seconde partie est de faire connoître, par une description détaillée, la position géographique des diverses sortes de roches ou de formations que nous avons déterminées, et les particularités qu'elles offrent dans les lieux où nous les avons étudiées. Nous combinerons donc ici l'ordre de superposition avec l'ordre géographique.

Nous diviserons en trois régions principales le terrain que nous allons décrire. Celle du nord de la Seine, celle qui est située entre la Seine et la Marne, et celle du midi de la Seine. Nous irons généralement de l'est à l'ouest.

1re ET 2e FORMATIONS. — *Craie et argile plastique.*

La craie étant la formation la plus ancienne, et par conséquent la plus inférieure de toutes celles qui constituent le sol du bassin de Paris, est aussi celle qui se montre le plus rarement à nu. Nous ferons mention non seulement des lieux où on la voit à la surface du terrain, mais encore de ceux où on l'a reconnue par des fouilles plus ou moins profondes.

La craie paroissant former les parois de l'espèce de bassin dans lequel tous les autres terrains ont été déposés, notre but principal a été de déterminer les bords de ce bassin tant au nord qu'au midi. Nous en avons déjà indiqué les limites dans le premier chapitre, il nous reste à les décrire dans celui-ci avec plus d'exactitude.

On a déjà vu que les bords septentrionaux de ce bassin étoient assez faciles à suivre. La première partie visible de cette espèce de ceinture de craie, en partant du point le plus voisin de la rive septentrionale de la Seine à l'est de Paris, commence à Montreau, et se continue sans interruption sensible jusqu'à la Roche-Guyon, sur le bord de la Seine au N. O. de Paris.

Elle passe derrière Provins, devant Sésanne, derrière Montmirail, devant Epernay, à Fimes, derrière Laon, près Compiégne au nord de cette ville, près de Beauvais et à Gisors. Au reste, la carte que nous présentons donnera les bords de cette ceinture plus exactement que la plus longue description.

Nous pouvons d'autant mieux regarder la ligne que

nous venons de suivre comme les bords du bassin de craie, qu'en sortant de cette bordure pour s'éloigner de Paris, on se trouve dans presque toutes les directions sur des plateaux ou dans des plaines de craie d'une étendue très-considérable. Au-delà de ces limites, la craie ne s'enfonce que rarement, et qu'à très-peu de profondeur sous les autres terrains. Elle se montre, comme on le sait, absolument à nu à la surface du sol dans la Champagne. Elle imprime à ce sol une telle stérilité qu'on y voit des plaines immenses non seulement privées de culture, mais encore arides et absolument dénuées de végétation, excepté dans quelques parties très-circonscrites où des masses de calcaire grossier forment comme des espèces d'îles ou d'oasis au milieu de ces déserts. Il est telle partie de ces plaines de craie qui, depuis des siècles, n'a peut-être été visitée par aucun être vivant; nul motif ne peut les y amener, aucun végétal n'y appelle les animaux; par conséquent ni la culture ni la chasse ne peuvent y attirer les hommes.

On fera remarquer à cette occasion que l'argile et la craie pures sont les deux seules sortes de terrains qui soient absolument impropres à la végétation; plusieurs espèces de plantes peuvent être cultivées dans les sables les plus arides si on parvient à les fixer; mais nous ne connoissons jusqu'à présent aucun moyen de défricher en grand ni l'argile ni la craie. Heureusement cette sorte de terrain ne se montre pas fréquemment aussi à découvert que dans les lieux que nous venons de citer, elle est ordinairement recouverte d'argile, de silex, de sable ou

de calcaire grossier qui, par leur mélange en diverses proportions, forment des terres propres aux différens genres de culture.

La craie s'élève près de Montreau, sur la rive droite de la Seine, en coteaux de 30 à 40 mètres de hauteur. Elle porte une couche d'argile, dont l'épaisseur est variable. Cette argile appartient, comme nous l'avons dit, à la même formation que celle de Vanvres, d'Arcueil, etc.; mais elle est plus pure, et sur-tout beaucoup plus blanche; et comme elle conserve sa couleur à un feu modéré, elle est très-propre à la fabrication de la faïence fine. C'est aussi de ces carrières que les manufactures de faïence fine de Paris et de ses environs à plus de dix lieues à la ronde tirent leur argile.

La craie de Champagne commence près de Sésanne, aux marais de Saint-Gond, où elle est encore recouverte d'argile. A Lanoue et à Changnion, elle paroît immédiatement au-dessous d'un tuf calcaire (1).

Tout le coteau de Marigny, en face de Compiégne, et depuis Clairoy au N. E. (2) jusqu'à Rivecourt au S. O., est de craie. Cette craie renferme peu de silex.

La craie ne paroît pas à nu sur la rive gauche de l'Oise, mais elle y est à très-peu de profondeur; le sable calcaire qui se trouve sous tous les bancs de pierre calcaire en est l'indice certain. On sait d'ailleurs que tous les puits de Compiégne sont creusés dans la craie.

---

(1) Les terrains de craie indiqués à l'est de Fimes, d'Epernay et de Sésanne ont été placés d'après les Mémoires de Guettard, et sont hors de notre carte.

(2) Hors de la carte.

Nous avons retrouvé la craie près de Beaumont-sur-Oise, de Chambly à Gisors et à la côte de la Houssoye, sur la route de Beauvais à Gisors. On monte près de ce lieu sur un plateau qui présente la craie presque à nu dans une grande étendue, depuis Puiseux au N. O. jusqu'à Belle-Eglise au S. E. Ce plateau se prolonge ainsi jusqu'à Gisors. Toutes les collines qui entourent cette ville font voir la craie dans leurs escarpemens, et nous l'avons reconnue, soit par nous-mêmes, soit par des personnes dont les rapports méritent toute confiance, le long des bords de l'Epte jusqu'à Saint-Clair. La craie qui est au N. E. de Gisors étant très-relevée forme un plateau qui n'est recouvert que par de la terre végétale d'un rouge de rouille, et mêlée de silex. Celle qui est au S. O. et au S. de cette ville étant moins relevée est revêtue d'argile plastique et de bancs de calcaire grossier.

La craie se montre encore à l'Ouest et au N. O. de Beauvais, au-delà de Saint-Paul ; elle se prolonge sans aucun doute du côté de Saveignies, comme le prouvent les silex épars dans les champs ; mais elle est cachée par les couches épaisses d'argile plastique, tantôt presque pure, tantôt mêlée de sable, qu'on trouve abondamment dans ces cantons, et qu'on exploite depuis long-temps aux environs de Saint-Paul, du Bequet, de l'Héraulle (1), etc., pour la fabrication des grès de Saveignies et autres lieux.

Nous avons donné Mantes comme l'extrémité occi-

(1) Plus loin, au N. O. de Saveignies, c'est hors des limites de notre carte.

dentale de la ceinture de craie qui entoure Paris au nord de la Seine. En effet, presque tous les escarpemens des collines qui entourent cette ville sur l'une et l'autre rives, présentent la craie surmontée souvent de calcaire grossier, comme on le verra à l'article de cette formation. Nous n'énumérerons pas les points où la craie se présente; la carte le fait voir suffisamment (1). On remarque que cette disposition se continue ainsi jusqu'à la Roche-Guyon.

Il y a souvent de l'argile entre la craie et le calcaire grossier; comme Dolomieu l'a observé sur la rive droite de la Seine, dans l'angle rentrant que fait la Seine en face de Rolleboise. A la Roche-Guyon la craie est à nu, et elle se continue presque toujours ainsi jusqu'à Rouen. C'est ici que nous la quittons, parce que nous regardons ce point comme le bord du bassin de Paris, puisqu'au-delà on ne trouve plus les gypses qui se sont déposés dans ce bassin particulier.

La ceinture de craie du midi de la Seine est beaucoup moins distincte, et laisse de grandes lacunes. Nous en avons donné les raisons dans le premier chapitre. Nous allons cependant essayer de la suivre en allant de l'ouest à l'est.

On la retrouve sur la rive gauche de la Seine en face de Mantes, dans la vallée où est placé Mantes-la-Ville; on peut la suivre jusqu'à Vers; mais elle ne tarde pas à disparoître sous le calcaire siliceux qui se montre dans

(1) Nous tenons de M. de Roissy les renseignemens sur Mantes.

ce

ce lieu pour ne plus la retrouver qu'à Houdan. On la voit à nu à la sortie de cette ville du côté de Dreux (1). Tous les coteaux élevés qui entourent cette dernière ville, offrent sur leur flanc la craie entrecoupée de bancs interrompus de silex. Tout le plateau compris entre Dreux et Houdan est de craie. La forêt de Dreux, le plateau d'Abondant qui se continue en une plaine immense, et parfaitement plane, sont de craie recouverte par l'argile plastique, le sable, et un agglomerat de silex dans une argile maigre, sablonneuse et rouge. Nous sommes descendus dans un puits creusé pour exploiter l'argile plastique, et nous avons reconnu la succession de couches suivante :

1. Agglomerat composé de fragmens de silex empâtés dans une terre argilo-sablonneuse, d'autant plus rouge qu'on s'approche davantage de la surface du sol.

2. Sable blanc ou gris, ou même verdâtre, selon les lieux où l'on creuse, composé de grains de quartz assez gros, d'un peu de mica, le tout foiblement agglutiné par un peu d'argile.

3. Argile plastique blanche, très-homogène, très-tenace, avec de grandes marbrures d'argile jaune de même nature. Elle renferme quelquefois des fragmens de craie.

4. Silex en fragmens et craie.

Ces couches n'ont aucune régularité dans leur épaisseur. On trouve dans la même plaine, et dans des points peu distans l'un de l'autre, l'argile, tantôt à 5 mètres, tantôt à 20 mètres et plus. Le banc d'argile varie lui-même d'épaisseur; et ces différences sont si subites, qu'il disparoît quelquefois presque entièrement dans les petites

(1) Ces lieux sont hors des limites de notre carte.

galeries de 2 ou 5 mètres que les ouvriers percent au fond des puits. La coupe que nous donnons peut servir à expliquer comment on peut concevoir la disposition de ce terrain et l'incertitude où est constamment le tireur d'argile de trouver cette matière au fond du puits qu'il creuse.

L'argile plastique se voit encore au sud d'Houdan, dans la vallée où se trouve le village de Condé. C'est au-dessous du sol même d'attérissement, qui constitue le fond de la vallée, que se montre l'argile; elle est grise; ses premières couches renferment souvent des cristaux de sélénite. Quoique nous ayions tout lieu de soupçonner que c'est encore ici l'argile plastique qui recouvre la craie, quoique les silex qu'on trouve sur la terre des environs indiquent que cette matière ne peut être éloignée, cependant nous n'avons pu avoir aucune certitude sur sa présence, et l'argile de Condé, mêlée de sélénite, a une apparence très-différente de celle d'Abondant. Il ne faut pas cependant la rapporter aux marnes du gypse.

En allant plus au sud, on entre dans les plaines sablonneuses de la Beauce; ces masses de sable couvrent la craie, et les cachent dans une grande étendue. Il faut aller assez loin, et toujours vers le sud, passer la Loire et les plaines de la Sologne pour la retrouver près de Salbris. Elle n'est pas encore ici précisément à la surface du sol, mais on la rencontre à si peu de profondeur qu'on doit ne faire aucune attention à la petite couche de sable et de terre de bruyère qui la recouvre. Quoique nous ne l'ayions vue que dans une très-petite étendue, elle y est bien caractérisé par les silex blonds, et sur-

tout par les oursins qu'ils contiennent, et qui la distinguent essentiellement des marnes blanches avec lesquelles on pourroit quelquefois la confondre, lorsqu'on ne la voit point en grande masse. On peut dire qu'une fois retrouvée dans ce lieu, on ne la perd plus jusqu'à Montereau, qui a été le point d'où nous sommes partis pour tracer la ceinture de craie du bassin de Paris.

Nous l'avons suivie sans interruption depuis Neuvy, sur la rive droite de la Loire, jusqu'à Nemours (1). Ici elle se relève, et forme, sur le bord oriental de la route de Montargis à Nemours, des collines assez élevées, et souvent escarpées; on la voit encore près de Nanteau, à l'est, et du côté de Montereau, où on l'emploie pour marner les vignes. Cette craie est assez dure dans quelques endroits, et ses silex sont blonds; mais elle reprend ailleurs sa mollesse et ses silex noirs.

Nous venons de faire connoître les points principaux de la ceinture de craie qui entoure le bassin de Paris. La carte fera voir les autres.

Au-delà de cette ligne, tout est craie dans une grande étendue; mais, quelque large que soit cette étendue, on peut cependant la comparer à un anneau ou à une ceinture qui s'enfonce encore sous le calcaire grossier qu'on voit reparoître au-delà, comme à Caen, à Bar-sur-Aube, à Dijon, etc.

Une disposition assez remarquable tend à prouver que le terrain qui vient d'être décrit est en effet le bord d'une

---

(1) Au sud-est et hors de la carte.

espèce de bassin ou de golfe; ce sont les cailloux roulés, souvent réunis en poudings très-durs, qu'on remarque sur plusieurs points de ce rebord, comme on les trouve sur les grèves des golfes encore occupés par la mer.

On les voit très-bien et en bancs immenses près de Nemours, et précisément entre la craie et le terrain de calcaire siliceux qui la suit.

On les revoit à Moret, près la pyramide; ils y forment encore de très-beaux poudings.

Le terrain que l'on parcourt en allant de Beaumont-sur-Oise à Yvri-le-Temple, est entièrement composé de cailloux roulés répandus plus ou moins abondamment dans une terre argilo-sablonneuse rouge qui recouvre la craie. C'est encore ici un des bords du bassin de craie.

On les retrouve du côté de Mantes, entre Triel et cette ville, dans un vallon qui est nommé sur les cartes *la Vallée des Cailloux*.

Du cô é d'Houdan, ils sont amoncelés sur le bord des champs en tas immenses : enfin la partie des plaines de la Sologne, que nous avons visitée, depuis Orléans jusqu'à Salbris, est composée d'un sable siliceux, brunâtre, mêlé d'une grande quantité de cailloux roulés de plusieurs espèces. Ici ce ne sont plus seulement des silex, il y a aussi des jaspes et des quartz de diverses couleurs. On remarquera que ce sol de rivage recouvre la craie presque immédiatement, comme on peut l'observer avant d'arriver à Salbris, etc., et qu'il est bien différent des sables du pays Chartrain, de la Beauce, etc. qui ne contiennent aucun caillou roulé.

Le fond de ce bassin de craie n'étoit pas partout uni; il avoit, dans divers points, des protubérances qui percent les terrains dont il a été recouvert depuis, et qui forment, au milieu de ces terrains, comme des espèces d'îles de craie.

Le point le plus voisin de Paris où il se montre ainsi, c'est Meudon. La craie n'arrive pas tout-à-fait jusqu'à la surface du sol, mais elle n'est recouverte dans quelques endroits que d'une couche mince d'argile plastique. La partie supérieure de cette masse est comme brisée, et présente une espèce de brèche, dont les fragmens sont de craie et les intervalles d'argile. La partie la plus élevée de la masse de craie se voit au-dessus de la verrerie de Sèvres. Elle est à 15 mètres environ au-dessus de la Seine. Cette disposition relève toutes les couches qui la surmontent, et semble en même temps en diminuer l'épaisseur. On peut suivre ce promontoire de craie depuis la montée des Moulineaux, au bas de Meudon, jusqu'aux bases de la butte de Bellevue et dans Sèvres même; les caves et les fondations de toutes les maisons bâties sur le chemin de Bellevue sont creusées dans la craie. Dans le parc de Saint-Cloud, les fondations du pavillon d'Italie sont placées sur ce terrain. Elle est dans cette étendue recouverte d'argile plastique, et surmontée de calcaire grossier.

La craie se relève également à Bougival près Marly, elle est presque à nu dans quelques points, n'étant recouverte que par des pierres calcaires d'un grain assez fin, mais en fragmens plus ou moins gros et disséminés dans

un sable marneux, qui est presque pur vers le sommet de cette colline.

Au milieu de ces fragmens, on trouve des géodes d'un calcaire blanc-jaunâtre, compacte, à grain fin, avec des lames spathiques et de petites cavités tapissées de très-petits cristaux de chaux carbonatée. La pâte de ces géodes renferme une multitude de coquilles qui appartiennent à la formation du calcaire.

Parmi ces géodes, nous en avons trouvé une qui présentoit une vaste cavité tapissée de cristaux limpides, allongés et aigus, ayant plus de deux centimètres de longueur.

La division mécanique seule nous a appris que ces cristaux appartenoient à l'espèce de la strontiane sulfatée, et un examen plus attentif de leur forme nous a fait connoître qu'ils constituoient une variété nouvelle. M. Haüy, auquel nous l'avons communiquée, l'a nommée *strontiane sulfatée apotome*.

Ces cristaux offrent des prismes rhomboïdaux à quatre pans, dont les angles sont les mêmes que ceux du prisme des variétés unitaire, émoussée, etc., c'est-à-dire 77 degrés 2′ et 102 degrés 58′. Ils sont terminés par des pyramides à quatre faces et très-aiguës. L'angle d'incidence des faces de chaque pyramide sur les pans adjacens est de 161 degrés 16′. Les faces sont produites par un décroissement par deux rangées à gauche et à droite de l'angle *E* de la molécule soustractive. C'est une loi qui n'avoit pas encore été reconnue dans les variétés de strontiane sulfatée étudiées jusqu'à ce jour. Son signe sera $\overset{1}{E}\, E^{2}\, {}^{2}E$.

Les cristaux de strontiane, observés jusqu'à présent aux

environs de Paris, sont extrêmement petits, et tapissent les parois de quelques-unes des géodes de strontiane qu'on trouve dans les marnes vertes de la formation gypseuse ; mais on n'en avoit point encore vu d'aussi volumineux et d'aussi nets.

En suivant cette ligne on voit encore la craie à Chavenay au N. O. de Versailles, à Mareil, à Maule et tout le long de la Mauldre presque jusqu'à la Seine. Elle se présente toujours de la même manière, mais nous n'avons pas retrouvé dans ces derniers lieux l'argile plastique qui la recouvre ordinairement.

Il paroît qu'elle s'enfonce davantage vers le nord de la ligne que nous venons de suivre, cependant on la retrouve encore à peu de profondeur au sud d'Auteuil, dans la plaine du point du jour (1). En perçant un terrain composé de sable rougeâtre et de cailloux roulés et qui a environ 5 mètres d'épaisseur, on trouve la craie immédiatement au-dessous sans qu'on puisse apercevoir aucun indice, ni de l'argile plastique, ni du calcaire marin qui la recouvre dans d'autres lieux.

Près de Ruel, il faut creuser plus profondément; on y a percé des puits, dans l'espérance, fondée sur des prestiges rabdomanciques, de trouver de la houille. Ces puits, qui ont été jusqu'à 125 mètres au-dessous du niveau de la Seine, n'ont servi qu'à nous faire connoître que la craie existe sous ce sol d'attérissement et qu'elle y a une épaisseur considérable.

---

(1) M. Coupé en avoit fait mention. *Journal de Physique*, tome LXI, page 368.

Les autres points où se montre la craie sont trop peu importans ou trop rapprochés des limites du bassin pour que nous en fassions une mention particulière ; la carte les fera suffisamment connoître.

Quant à l'argile plastique, elle ne se fait voir nulle part à la surface du sol, mais on l'exploite dans tous les lieux où elle offre des couches peu profondes, pures et continues. Nous avons désigné presque tous ces lieux dans le premier chapitre ; nous n'y reviendrons dans celui-ci que pour en citer un ou où elle présente un fait qui nous paroît particulier.

C'est à Marly que nous avons fait cette observation. On y creuse dans ce moment (1810) des puits destinés à l'établissement d'une nouvelle machine hydraulique. Ces excavations nous ont offert des coupes de terrain régulières, nombreuses et profondes, et de précieux moyens d'étendre et de vérifier nos observations (1). Le fond du terrain est de la craie ; on voit, au-dessus du premier réservoir et immédiatement au-dessus de la craie, l'argile plastique, le sable et le calcaire marin sableux à chlorite granulée qui la recouvrent constamment. Cette argile très-grasse ne paroît renfermer aucune coquille, du moins nous n'en avons vu aucune dans ce point ; mais au fond du second puits, à 40 mètres de profondeur, on a trouvé une argile brune, sablonneuse, très-pyriteuse, qui contient une très-grande quantité de

(1) M. Bralle, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et M. Rabeilleau, inspecteur des travaux, ont pris à nos recherches beaucoup d'intérêt, et nous ont donné avec beaucoup d'empressement toutes les facilités et les renseignemens que nous avons pu désirer.

coquilles

coquilles bivalves et quelques coquilles turbinées. Toutes les coquilles que nous avons recueillies sont trop brisées pour que nous ayions pu les déterminer avec exactitude; elles paroissent cependant appartenir au genre cythérée et ressemblent beaucoup au *Citherea nitidula*. Nous avons dit, *page* 15, que ce premier banc d'argile étoit toujours impur, sablonneux, même marneux, et séparé de la vraie argile plastique sans coquilles par un lit de sable.

3e FORMATION. — *Calcaire marin.*

La formation du calcaire marin est beaucoup plus répandue aux environs de Paris, et partout beaucoup plus variée que celle de la craie. Elle présente, dans l'intérieur du vaste bassin de craie, dons nous venons d'indiquer les bords, un grand plateau sillonné par des vallons, et dont la superficie est, tantôt à nu et tantôt recouverte par des masses de gypse, ou par des nappes de sable.

La plus grande partie de ce plateau est placée sur le côté septentrional de la Seine, depuis l'Epte jusqu'à la Marne. Ce n'est pas qu'on ne trouve du calcaire marin au-delà de l'Epte; mais nous n'en faisons pas mention, parce que cette rivière forme de ce côté les limites du terrein que nous avons étudié particulièrement. D'ailleurs, le calcaire ne se montre plus au-delà de cette ligne, que par lambeaux appliqués sur la craie, dont la masse très-relevée devient alors le terrein dominant. Ce que nous disons sur cette limite du calcaire doit

s'appliquer à toute la ligne de circonscription que nous avons établie pour la partie septentrionale de la Seine et de la Marne.

Cette partie du plateau est sillonnée par deux vallées principales; celle de l'Oise et celle de l'Ourq. Dans la partie où nous les examinons, elles se dirigent toutes deux du N. E. au S. O.

Il ne paroît, entre Seine et Marne, que de très-petites parties de ce plateau, encore ne les voit-on qu'au confluent de ces deux rivières et sur la rive gauche de la Marne.

Sur le côté méridional de la Seine, le plateau calcaire ne présente qu'une zone qui n'a guère plus de 12,000 mètres de large, en partant des angles saillans de cette rivière. On peut voir que cette zone semble border la Seine, et qu'elle part de Meulan pour se terminer à Choisy.

On remarque, au milieu du grand plateau septentrional, une plaine à peu près elliptique, dont le grand diamètre s'étend depuis Frepillon près l'Oise, et en face de Pontoise, jusqu'à Claye près de la Marne : sa plus grande largeur est entre Louvres et le pied de Montmartre; le calcaire marin proprement dit ne se montre dans aucune partie de cette grande plaine : nous ne pouvons même pas dire s'il existe dessous ou s'il manque tout-à-fait : tout ce que nous savons, c'est qu'en creusant le Canal de l'Ourq dans la plaine de Saint-Denis, M. Girard a fait sonder partout à plusieurs mètres sans trouver de pierre calcaire, quoique la formation marine se fasse voir dans quelques cantons à très-peu de profondeur.

Ce n'est pas ici le lieu de décrire la nature de cette plaine, il nous suffit de faire remarquer que cette espèce de grande lacune, placée au milieu de notre plateau calcaire, est composée de terrein d'eau douce.

Ce que nous venons de dire, et mieux encore l'inspection de la carte, suffit pour donner une idée générale de la disposition géographique du calcaire marin aux environs de Paris. Nous allons reprendre cette formation, et faire connoître ce qu'elle offre de plus intéressant en suivant une marche analogue à celle que nous avons adoptée dans la description des terreins crayeux.

Nous subdiviserons ce grand plateau en plusieurs petits plateaux, auxquels nous donnerons même des noms particulièrs. Mais nous devons prévenir que cette division est purement artificielle, et n'a d'autre objet que de rendre nos descriptions plus méthodiques et plus claires.

§. I. *Plateau de la Ferté-sous-Jouarre.*

Ce plateau calcaire, situé le plus à l'est de nos limites, est compris entre la vallée de la Marne et celle de l'Ourq. Il ne se montre guère que dans les escarpemens, il est recouvert dans les plaines basses par des terreins d'alluvions, et, sur les sommets des collines, il est caché ou par la formation gypseuse, ou par la formation des meulières, ou enfin par la formation d'eau douce.

Ce plateau calcaire est généralement mince et n'offre que dans un petit nombre de points des couches épaisses et exploitables. Il paroît que les meilleures pierres de taille

sont prises dans les carrières de Changy. Nous n'avons pas visité ces carrières; mais nous avons vu, près de Trilport, les pierres qu'on en tire; elles sont très-coquillières, et appartiennent aux bancs intermédiaires, voisins de celui qu'on nomme roche, ou peut-être à ce banc même.

Les autres carrières exploitées sont: 1°. *celles de Varrède*, près Poincy, sur les bords de la Marne; la masse des bancs est de 7 à 8 mètres; les bancs inférieurs tendres et friables sont abandonnés, comme ils le sont presque toujours; 2°. *celle de Reselle*; 3°. *celle de Germiny-l'Évesque*, sur la Marne; la tour de Saint-Pharon, à Meaux, en est construite; 4°. enfin, *celle de Monthenard*, près Trilbardou. (1).

Sur les bords de ce plateau, à l'est et à l'ouest, la masse calcaire est encore plus mince, et les bancs de vrai calcaire marin coquillier qui restent pour caractériser la formation, sont mêlés de bancs de marnes calcaires, et même de marne argileuse. On y remarque aussi des lits et des rognons en masses puissantes de grès à coquilles marines et absolument semblables à celui de Triel. Nous avons observé cette disposition en sortant de la Ferté-sous-Jouarre, du côté de Tarteret, pour monter sur le plateau de meulière.

---

(1) Nous tenons ces renseignemens de M. Barigny, architecte de la cathédrale de Meaux.

§ II. *Plateau de Meaux.*

C'est celui qui est au-dessus de Meaux, au nord et à l'est de cette ville ; il paroît avoir une structure analogue à celle du précédent, et en être même une continuation. Nous avons pu l'observer assez exactement, au moyen de la tranchée creusée, entre Fresne et Vilaine, pour le passage du canal de l'Ourq. Dans ce lieu, la formation du calcaire marin n'est représentée que par des lits, très-étendus, de grès gris coquillier, et par des couches minces de calcaire coquillier, situées au-dessous du grès ; les coquilles y sont d'un blanc perlé, mais tellement brisées, qu'il n'est pas possible de les reconnoître. Ces masses ou bancs, de grès interrompus, sont quelquefois placés dans une couche épaisse d'un sable argilo-calcaire, au milieu de laquelle courent des lits minces de calcaire solide et fin, et qui reposent sur des lits de marne calcaire sableuse et de marne argileuse.

§ III. *Plateau de Crépy.*

En remontant vers le nord du côté de Villers-Cotteret, nous ne connoissons point de carrière de pierre calcaire avant Vaucienne : c'est-à-dire que, jusque là, la formation calcaire est trop recouverte, ou trop mince, pour mériter d'être exploitée.

En suivant la route de Paris à Villers-Cotteret, et immédiatement à la sortie de Nanteuil-le-Haudouin, on trouve, au-dessus d'une masse très-épaisse de grès dur sans coquilles, une couche mince d'un décimètre d'un

calcaire sableux, renfermant dans sa moitié supérieure des coquilles marines très-variées. Le sol au-dessus de cette couche est de calcaire d'eau douce (1). On retrouve près de Levignan ces mêmes coquilles marines, et notamment des cérites au milieu du terreau végétal qui recouvre les grès. Il paroît que cette couche marine, située immédiatement au-dessus des grès sans coquilles, appartient à la seconde formation des grès marins, décrite dans le premier chapitre, § VIII.

Après avoir traversé Gondreville et des collines de grès assez élevées, et au moment de descendre dans la vallée de Vaucienne, on trouve encore sur le sommet de la colline des grès en blocs peu volumineux, qui sont coquilliers; ils renferment principalement des cérites, mais on doit remarquer que nous n'avons pu apercevoir aucune coquille dans les bancs du grès inférieur à celui qui est coquillier; c'est une preuve que le grès supérieur appartient à la seconde formation marine, car on sait que ce grès marin repose constamment sur un banc plus ou moins épais de sable ou de grès sans coquilles, qui constitue la septième formation.

En descendant dans la vallée on arrive au calcaire en gros bancs qui compose le sol à une grande profondeur

---

(1) Nous y avons reconnu les espèces suivantes qui marquent le rapprochement des deux terrains :

Oliva Mitreola.

Cerithium lamellosum.

Bulimus, ou *melania* ? le même qu'à Pierrelaie, et qu'à Ezainville près d'Écouen.

Cithcrea elegans.

et sur une grande étendue. On en voit très-loin la coupe sur les bords escarpés de la vallée où coule la petite rivière d'Autonne, qui se jette dans l'Oise: comme la route creusée dans ces coteaux a coupé les bancs, il est facile d'en remarquer la succession et de voir qu'ils suivent l'ordre que nous avons indiqué dans le premier chapitre (1).

Il paroît que le sable verdâtre se trouve sous le calcaire tout le long de la vallée de l'Autonne jusqu'à Verberie, où nous l'avons retrouvé en allant à Compiégne. La pré-

---

(1) On remarque en allant de haut en bas la succession de bancs suivante :

1°. Calcaire coquillier, dur, renfermant :

Des *Miliolites.*
Turritella imbricata.
Pectunculus.
Citherea elegans.
Cardium obliquum.
Orbitolites plana, etc.

2°. Calcaire composé d'un si grand nombre de coquilles qu'il ne paroît pas y avoir de pâte. Il est peu dur, et quelques-unes des coquilles y ont conservé leur nacre. Nous y avons déterminé les espèces suivantes :

Voluta cithara.
Ampullaria patula.
Turritella multisulcata.
Cardium porulosum.
Citherea nitidula,
Lucina lamellosa, etc.

3°. Calcaire composé de nummulites, réunies assez solidement, et renfermant de la chlorite en grains.

4°. Bancs composés de sable à gros grains, et même de petits cailloux roulés de *nummulites lœvigata* et des mêmes espèces que celles du n°. 2, et en outre de caryophillites simples et coniques de la première grandeur, etc.

5°. Banc de sable verdâtre assez fin.

sence de ce sable et des nummulites nous faisoit soupçonner que la craie ne devoit pas être loin, et en effet elle se rencontre à une petite profondeur dans toutes les parties un peu élevées de la plaine sur laquelle est situé le bord occidental de la forêt de Compiégne. Le calcaire compose toutes les hauteurs qui environnent cette forêt, à l'exception de la côte de Marigny où la craie est à nu, c'est-à-dire sans le chapeau de calcaire qui la recouvre souvent.

Le mont Ganelon, au N. de Compiégne, et sur la rive droite de l'Oise, quoiqu'à la suite de la côte de Marigny, et à peu près de la même élévation qu'elle, en est cependant séparé par un vallon; il est entièrement calcaire, et présente dans ses couches une disposition semblable à celle des couches de Vaucienne; sa base consiste en un banc de sable très-épais, mêlé de rognons de marne comme à Verberie, et interrompu par des lits de *nummulites lævigata*. LAM. Il renferme dans sa partie moyenne de la chlorite.

Plus haut on trouve toujours les nummulites, mais en bancs mêlés d'autres coquilles qui ont conservé la plupart leur couleur nacrée (1). Ce banc très-dur est exploité en moellon, dont la surface noircit à l'air d'une manière assez remarquable. Enfin, en examinant un petit mamelon qui paroît plus élevé que le reste de la mon-

(1) Ces coquilles sont tellement brisées et engagées dans la pierre, qui est généralement fort dure, que nous n'avons guère pu y reconnoître que des *anomies*.

tagne,

tagne, on le trouve composé de calcaire grossier ordinaire, renfermant des *cardium obliquum*, etc.

§ IV. *Plateau de Senlis.*

Le grand plateau calcaire qui porte Pont-Ste-Maxence, Creil, Senlis, la forêt de Chantilly, la forêt de Hallatte, etc. ne présente rien de particulier. Nous ferons seulement remarquer, 1°. que les lits moyens qui donnent la belle pierre de Sainte-Maxence, sont plus épais dans ce lieu que dans ceux dont nous avons fait mention; 2°. qu'on trouve le grès marin du calcaire dans la forêt de Pontarmé, sur le bord du plateau; 3° que sur le bord méridional de ce plateau on retrouve, comme sur son bord septentrional, l'espèce de poudding qui forme ses couches inférieures, et qui est composé de sable quartzeux à gros grains, de coquilles nacrées et de nummulites (1): on voit principalement ce poudding en sortant de la forêt de Chantilly, du côté de la Morlaye, et au-dessous est une masse considérable de sable renfermant, comme à Vaucienne et à Verberie, de la chlorite.

---

(1) Nos échantillons renferment les espèces suivantes:

Nummulites laevigata ?

Venus texta.

Lucina lamellosa.

Caryophillite simple conique de 2 centimètres de longueur; c'est la grande espèce des environs de Paris, fig. 1.

Cardium obliquum.

— *calcitrapoides.*

etc., etc.

Quoique, par la disposition du terrain, ce plateau semble être terminé par la vallée où coule la Thève, et dont la largeur s'étend depuis la Morlaye jusqu'à Chaumontel, on retrouve cependant absolument les mêmes couches calcaires dans le cap qui porte Luzarche. Ce n'est pas précisément à Luzarche que nous nous sommes assurés de cette structure, mais à la montée qui est au sud du petit vallon de Chauvigny.

L'isthme calcaire qui porte Luzarche, et qui s'étend vers l'Oise, est un appendice du petit plateau qui s'étend à l'est jusqu'à Louvres, et qui s'y termine. Il n'est lui-même qu'une dépendance du grand plateau que nous venons de décrire, quoiqu'il en paroisse assez distinctement séparé par la vallée de la Thève, et par l'alluvion étendue qui en a nivelé le sol.

On trouve sur ce petit plateau le grès gris à coquilles marines, dans lequel on voit des empreintes du *cerithium serratum*, etc., et un calcaire sableux, friable, qui semble renfermer au premier aspect presque autant de coquilles que celui de Grignon. Le grès est situé près de Louvres, et visible dans le vallon qui est à l'ouest de ce bourg. Le calcaire se trouve à Guespelle, presque à la surface du sol ; il renferme un grand nombre d'espèces qui sont presque toutes semblables à celles qu'on trouve à Grignon. Cependant on doit remarquer qu'on trouve à Guespelle beaucoup de cérites, et peu d'orbitolites ; que ce lieu manque de la plupart des espèces communes dans les couches inférieures du calcaire ; qu'il n'y a point de chlorite; et qu'enfin cette couche a, par la présence de son

sable siliceux et par la nature des espèces de coquilles qu'il renferme, encore plus de rapport avec la couche de Pierrelaie, c'est-à-dire avec les assises supérieures du calcaire marin, qu'avec celles de Grignon qui appartiennent aux couches moyennes et inférieures. Cette analogie est telle, que l'énumération que nous avons donnée des coquilles de Pierrelaie, chap. I, art. III, peut convenir parfaitement à celles de Guespelle.

La formation calcaire de ce petit plateau est généralement mince, aussi n'exploite-t-on des pierres à bâtir que près de Louvres; dans ce lieu où la formation est plus épaisse, on trouve les marnes calcaires qui la recouvrent ordinairement, et les géodes de marne dure, infiltrée de calcaire, qu'elles renferment souvent. Ici et près de Luzarche, la formation est entière; mais de Guespelle jusqu'aux alluvions de la Thève, les couches intermédiaires manquent. Ce qui paroît le prouver, c'est qu'il n'y a plus d'exploitation; les pierres à bâtir viennent de Comelle et de Montgresin, de l'autre côté de la Thève. Or, on sait, d'après ce que nous avons dit, que les pierres employées à bâtir appartiennent aux couches intermédiaires de la formation.

§ V. *Plateau d'entre Seine et Oise.*

Nous placerons une extrémité de ce plateau à Beaumont-sur-Oise, et l'autre à Argenteuil. Il forme une bande presque demi-circulaire, qui borde à l'ouest le bassin de terrain d'eau douce dont nous avons parlé plus haut. Nous avons cherché à saisir le point de contact

de ces deux terrains, et nous les avons examinés avec attention : 1°. du côté de la pointe occidentale de la longue colline gypseuse et sablonneuse de Montmorency, c'est-à-dire en allant de Frepillon à Méry et à Villiers-Adam; 2°. de Moisselles à Beaumont-sur-Oise.

Dans le premier lieu, nous n'avons pu saisir clairement la superposition de ces terrains, ni nous assurer si le calcaire marin passe sous le gypse et sous le terrain d'eau douce de ce canton, comme cela paroît probable, ou s'il se termine à la ligne où commence la vaste plaine d'eau douce de Gonesse, etc. De ce terrain, on passe sur le sol de sable et de grès des bois de Villiers-Adam, et de là sur les masses de calcaire qui bordent les deux rives de l'Oise et celles des petits vallons qui y aboutissent. Ces bords sont presque tous escarpés, ce qui permet d'observer les couches qui composent cette formation. Nous n'y avons rien remarqué qui ne tende à confirmer ce que nous avons déjà dit de leur disposition générale. On exploite à l'abbaye du Val de belles pierres de taille.

Il nous a été plus facile de reconnoître la position du calcaire marin sous le terrain d'eau douce de la plaine, dans le second lieu, c'est-à-dire aux approches de Beaumont-sur-Oise.

Après Maffliers, on commence à descendre vers la vallée de l'Oise. Cette première descente déjà très-rapide fait voir la coupe de ce terrain; on y reconnoît :

1°. Le calcaire d'eau douce en fragmens bouleversés;

2°. Un lit mince de marne d'eau douce feuilletée, appliqué tantôt

sur un lit mince de calcaire friable, rougeâtre, renfermant un assez grand nombre de coquilles marines mal conservées, tantôt sur le grès même ou sur le sable;

3°. Un grès dur en assises assez épaisses, ne renfermant pas de coquilles;

4°. Le calcaire marin dont les assises supérieures sont dures, siliceuses, et renferment les coquilles marines qui appartiennent à ces assises et notamment des cérites;

A la seconde descente qui mène à Presle, on trouve la suite des couches de la formation marine; savoir :

5°. Le calcaire marin homogène, mais tendre, en assises épaisses;

6°. Un sable calcaire jaunâtre, mêlé de chlorite, et renfermant des rognons très-durs souvent très gros, formant des bancs interrompus, mais horizontaux, et composés d'un calcaire sableux à grains de chlorite, agglutinés par un ciment spathique, et ressemblant à un porphire à petits grains.

Ce sable calcaire, qui est la partie inférieure de la formation du calcaire grossier, est ici d'une épaisseur immense. Il forme tous les coteaux des environs de Beaumont. La forêt de Carneille est placée sur ce sable; on remarque partout des rognons durs, souvent en partie composés de grains très-gros de sable quartzeux, en sorte qu'ils passent aux pouddings à petits grains.

7°. Enfin la craie dont le voisinage étoit annoncé par ces diverses roches, paroît dans un espace très-circonscrit à l'Est de Beaumont.

Nous n'avons vu aucun fossile dans le sable à chlorite.

Du côté de Pontoise, le calcaire exploitable finit à Pierrelaie, comme on peut le voir sur notre carte.

A Conflans-Sainte-Honorine, la bande calcaire apparente est très-étroite, mais elle n'en est pas moins épaisse; elle renferme des carrières nombreuses qui donnent de très-belles pierres de taille. Cette bande s'étend depuis Conflans jusqu'à Sartrouville, en bordant la rive droite de la Seine de coteaux escarpés qui la serrent de très-près

dans quelques points, et qui descendent même jusque dans son lit.

Le cap qui porte Montesson, Carrière-St.-Denis, etc. est entièrement calcaire, et présente quelques particularités assez intéressantes. Nous avons suivi cette masse calcaire jusqu'au pied de la montagne gypseuse de Sanois.

Les carrières de l'extrémité de ce cap font voir dans leur partie supérieure 22 lits très-distincts de marne calcaire dans lesquelles on n'aperçoit aucune coquille fossile. Les coquilles ne commencent à paroître qu'au 23e lit, ce sont principalement des cérites et des *corbula striata* qui les accompagnent souvent.

On trouve du côté de Houille, dans les bancs calcaires qui dépendent de l'exploitation de Carrière-Saint-Denis, et au milieu des marnes supérieures, un lit de quartz blanc carié, dont les cavités sont tapissées de petits cristaux de quartz prismé bisalterne et de chaux carbonatée inverse. Ce banc ressemble entièrement à celui qu'on connoît depuis long-temps dans les carrières de Neuilly, et nous soupçonnons qu'il pourra servir à caractériser les derniers dépôts de la formation calcaire; car si on ne le retrouve pas avec la même pureté dans les carrières de Meudon, de Sèvres, de Saint-Cloud, etc., il paroît y être représenté par un lit de sable blanc, quelquefois aggluttiné en une espèce de grès luisant ou de silex corné qui forme des noyaux sphéroïdaux au milieu de ce lit. Les bancs intermédiaires de Carrière-Saint-Denis sont les seuls qui soient exploités; les bancs inférieurs sont friables, et

renferment, comme à l'ordinaire, de la chlorite et de grandes coquilles d'espèces très-variées.

Cette masse calcaire offre deux autres particularités; 1°. l'escarpement du bord oriental de ce plateau fait voir, à une hauteur de plus de 25 mètres au-dessus du niveau actuel de la rivière, de larges sillons longitudinaux arrondis dans leur fond, et qui ne peuvent point être considérés comme l'effet de la décomposition d'un banc plus tendre que les autres. Ils offrent tous les caractères d'érosions produites par un ancien et puissant courant; 2°. on voit dans toutes ces carrières des coupes de puits naturels assez exactement cylindriques, qui percent toutes les couches, et qui sont actuellement remplis d'argile ferrugineuse et de silex roulés et brisés.

Ce plateau, que nous avons comparé à un demi-cercle, porte dans son milieu une plaine assez élevée, où sont situés les bois de Pierrelaie, les villages de Margency, Soissy, Deuil, Saint-Gratien, etc. Elle est bordée au S. O. par les coteaux de Cormeil et de Sanois, et au N. E. par celui de la forêt de Montmorency. Cette plaine forme ce que l'on nomme la *vallée de Montmorency*, espèce de grande vallée, sans col, sans rivière dans son milieu, enfin très-différente des vraies vallées des pays de montagnes; mais si elle en diffère par sa forme, elle en est aussi très-différente par sa structure géologique; le fond et les deux extrémités de cette espèce de vallée sont d'une autre nature que ses bords. Ce sont deux collines gypseuses qui forment ceux-ci, tandis que le fond de la vallée a pour sol le terrain d'eau douce et les couches supérieures du

plateau de calcaire marin que nous décrivons. En effet, de quelque point qu'on arrive dans cette vallée, soit de Louvres, soit de Pontoise, soit d'Herblay, ou de tout autre bord du plateau calcaire, il faut monter et s'élever au-dessus des dernières assises de ce plateau. Le terrain qui constitue le sol de cette vallée n'a été entamé que dans peu de points, et encore très-peu profondément. Cependant on peut en connoître les premières couches en les examinant dans les carrières de grès de Beauchamp, situées dans les bois de Pierrelaie, entre ce village et Franconville.

On remarque les couches suivantes au-dessous de la terre végétale :

	mètres.
1°. Fragmens de marne d'eau douce compacte et dure dans un sable calcaire. Il y a aussi des fragmens de silex corné semblable à celui qu'on voit dans les gypses ; environ	0,2
2°. Sable verdâtre agglutiné, renfermant un grand nombre de petites coquilles turbinées du genre des mélanies (1) ou d'un genre très-voisin. Il est comme divisé en deux assises	0•15
3°. Sable fin, blanc, renfermant les mêmes mélanies que le banc précédent, plus des limnées et des cyclostomes très-bien conservés (2), et quelquefois un lit mince de pierre calcaire sableuse, rempli de ces petites mélanies	0•60
4°. Grès dur, même luisant, renfermant une immense quantité de coquilles marines très-bien conservées, et disposées généralement par lits horizontaux (3). On y remarque en outre, mais	

(1) *Melania hordacea?* Lm.

(2) Ces coquilles, non marines, ont été décrites par l'un de nous. *Ann. du Mus. d'Hist. Nat.* tome XV, page 357, sous les noms suivans :

Cyclostoma mumia. Lm.

Limneus acuminatus. Br.

— *Ovum.* Br.

(3) Nous avons reconnu parmi ces coquilles les espèces suivantes :

très-rarement

très-rarement, quelques limnées absolument semblables à ceux du sable précédent. Ces bancs sont quelquefois au nombre de deux, séparés par une couche de sable contenant une prodigieuse quantité de coquilles marines.

Il y a ici un fait fort singulier, et dont la première observation est due à M. Beudan. C'est le mélange réel des coquilles d'eau douce avec les coquilles marines. Nous devons faire remarquer, 1°. que ce mélange a lieu dans un sol marin, et non dans un calcaire ou silex d'eau douce, constituant ce que nous appelons proprement *terrain d'eau douce*; 2°. que ce singulier mélange s'offre dans un terrain marin meuble, et pour ainsi dire d'alluvion, placé immédiatement au-dessous du calcaire d'eau douce bien caractérisé; 3°. que nous croyons en avoir aperçu des indications dans quelques autres points des environs de Paris (1), mais qu'il n'a jamais lieu que dans les derniers lits, c'est-à-dire dans les lits les plus

---

Cerithium coronatum.
— *mutabile.*
Oliva Laumontiana.
Ampullaria spirata.
Cardium Lima.
Cytherea elegans ?
— *tellinaria ?*
Nucula deltoïdea ?
Venericardia imbricata.
Venus callosa.
Ostrea. Deux espèces non déterminées.

(1) Dans les couches supérieures des marnes calcaires de Meudon et de Saint-Maur; c'est encore peu clair, parce qu'on n'y voit que des coquilles *semblables à des planorbes*, mais point de limnées.

superficiels du calcaire marin, et que s'il y a réellement dans ces lits marneux des coquilles d'eau douce, elles y sont extrêmement rares, tandis que les coquilles marines, qui ne sont guère que des cérites et des *cardium obliquum*, y sont au contraire très-abondantes.

La plaine qui est au pied du penchant septentrional du coteau de Montmorency, et qui forme encore une sorte de large vallée sans eau, bordée au nord par les coteaux gypseux de Luzarche, Mareil, etc. présente une structure absolument semblable à celle de la vallée de Montmorency. On y rencontre partout à sa surface, c'est-à-dire depuis Ecouen jusqu'à la grande descente qui est presque vis-à-vis de Maflier, au-delà de Moisselles, le calcaire d'eau douce généralement blanc compacte, assez dur, quoique facilement destructible à l'air. Ce calcaire recouvre immédiatement le grès marin, souvent coquillier vers sa surface supérieure, souvent mêlé de calcaire, et quelquefois même entièrement remplacé par du calcaire marin en couches très-minces. C'est presque au pied de la butte d'Ecouen, à l'ouest, et au nord-ouest de cette butte, et surtout près d'Ezanville, que se voit le mieux la disposition du grès à coquilles marines entre le calcaire d'eau douce et le grès sans coquilles. Les coquilles que renferme ce petit banc de grès, sont presque toutes semblables pour les espèces, et même pour le mode de conservation à celles du grès de Pierrelaie, etc. On y remarque surtout en quantité prodigieuse cette petite mélanie que nous avons déjà mentionnée sous le nom de *melania hordacea*.

§ VI. *Plateau de Marine.*

Ce vaste plateau est terminé au nord, à l'ouest et au sud par des collines de craie, il porte dans plusieurs endroits ou des masses de sable ou des masses de gypse, surmontées de sable et de terrain d'eau douce.

Il est assez élevé au-dessus du lit des rivières qui le bordent, telles que l'Oise, la Seine, l'Epte et le Troëne. Quand on est sur ce plateau on ne monte plus d'une manière remarquable que pour passer par dessus les collines de sable et de gypse qui le surmontent, telles que celles de Grisy, de Marine, de Sérans, du Mont-Javoux, de Triel, etc., et on ne descend que pour traverser les lits des rivières qui le sillonnent; alors on voit les couches épaisses qui composent cette puissante masse calcaire, comme à Char; ou même la craie qui la supporte, comme à Gisors, à Saint-Clair, à Magny, à Mantes et à Jusier. Au reste la carte indique très-clairement cette disposition.

Nous examinerons d'abord la partie septentrionale en suivant la route de Pontoise à Gisors, et la vallée du Troëne.

Avant de monter à Cormeille, on trouve dans une cavité creusée à la surface du plateau calcaire une couche mince de quartz caverneux semblable à celui de Neuilly et à celui que nous avons trouvé dans la plaine des Sablons et près de Houille. Nous devons faire remarquer de nouveau la régularité de ces formations jusque

dans les moindres couches; ce quartz est très certainement le caractère des derniers lits de la formation calcaire, puisque nous l'avons vu assez constamment dans les lieux où le voisinage du gypse semble indiquer que cette formation est complète.

Ainsi celui qu'on trouve dans la plaine des Sablons est au pied de Montmartre, celui d'entre Houille et carrières Saint-Denis est presque au pied de la montagne de Sanois, celui de Neuilly est au pied du Mont-Valérien, et celui de Corneille est aussi au pied d'une montagne gypseuse.

Près de Lattainville, un peu avant de descendre à Gisors et d'arriver à la craie qui se montre dans la vallée de l'Epte, on trouve des coquilles fossiles entièrement analogues à celles de Grignon. Ce lit est, comme nous l'avons déjà dit plusieurs fois, le caractère des couches inférieures de la formation calcaire.

On le retrouve encore :

1°. Au Mont-Ouen, à l'est de Gisors; il est placé sur un lit de sable calcaire renfermant des nummulites qui-sont toujours inférieures aux coquilles de Grignon; au-dessus et vers le sommet de cette butte se voient des cérites;

2°. Sur la pente méridionale de la vallée du Troëne à Lallery et à Liancourt près Chaumont. Le banc est ici épais et riche en espèces extrêmement variées, aussi ce lieu célèbre parmi les amateurs des coquilles fossiles mérite-t-il quelques détails.

En montant à Liancourt on trouve,

1°. Un banc de sable qui renferme une grande quantité de petites nummulites (*nummulites lenticularia*);

2°. Un autre banc de sable renfermant de plus grosses nummulites (*nummulites lævigata*) et des blocs de calcaire sablonneux rempli de chlorite ;

3°. Une couche de 2 mètres d'épaisseur environ, renfermant une immense quantité de coquilles. On y remarque plus de bivalves que d'univalves. Les coquilles qui nous ont paru particulières à ce lieu, sont : un *Cerithium*, voisin du *vertagus*.

Turritella terebellata, en quantité considérable.
Une autre turritelle voisine de l'*imbricataria*.
Crassatella sulcata.
Venericardia planicosta.
Lunulites. Fig. 9.
Turbinolite (genre formé d'une division des caryophyllites).

4°. Des bancs assez épais de calcaire tendre, et renfermant des miliolites. On le connoît sous le nom de *lambourde*.

5°. Des bancs d'un calcaire en plaques minces, et souvent brisées. Nous n'y avons pas vu de coquilles.

Cette disposition est toujours la même sur le coteau jusqu'à Gisors ; mais le lieu où les coquilles fossiles se voient le mieux, et où il est le plus facile d'obtenir ces coquilles entières, c'est sur le bord coupé à pic du chemin qui monte de la vallée pour aller gagner la grande route de Chaumont à Pontoise, au hameau de Vivray.

La partie méridionale du plateau de marine offre quelques particularités dans la disposition des couches de la formation calcaire. En sortant de Poissy, on traverse un terrain d'alluvion très-étendu, après lequel on arrive au cap méridional du plateau calcaire, d'où on extrait du moellon. En suivant la route de Paris à Triel, on trouve à droite du chemin une carrière dans laquelle M. de Roissy qui nous accompagnoit, nous fit remarquer des puits naturels semblables à ceux dont nous avons fait mention plus haut, en parlant du plateau d'entre Seine-et-Oise.

Ces puits verticaux, à parois assez unies, et comme usées par le frottement d'un torrent, ont environ cinq décimètres de diamètre ; ils sont remplis d'une argile sablonneuse et ferrugineuse et de cailloux siliceux roulés. Mais ce qu'ils offrent de plus remarquable que les premiers, c'est qu'ils ne percent pas les couches supérieures; ils commencent tous au même niveau. On doit conclure naturellement de cette disposition que ces puits avoient été ouverts et étoient dejà remplis lorsque les couches calcaires supérieures ont été déposées. Cette observation, jointe à celles que nous avons faites sur les différences qui existent constamment entre les coquilles fossiles des principaux systèmes de lits calcaires, concourt à nous prouver que les couches calcaires ont été déposées à des époques assez éloignées les unes des autres : car il paroît évident qu'il a fallu que les couches inférieures fussent toutes déposées, que les puits eussent été creusés par la cause inconnue qui les a formés et qui a dû agir pendant un certain temps pour unir leur parois comme elles le sont; il a fallu ensuite qu'ils aient été remplis par les argiles ferrugineuses, les sables et les cailloux, avant que les couches calcaires qui les ont fermés, se soient déposées: ces opérations ont dû nécessairement se succéder, et leur succession suppose un temps assez considérable. Mais nous n'avons aucune donnée qui puisse nous faire évaluer ce temps, même par approximation.

Ces puits sont d'ailleurs assez communs dans le calcaire marin. Nous ne les décrivons pas tous, parce qu'ils ne sont pas tous aussi remarquables que ceux-ci : mais

il y a peu de carrières qui n'en présentent; ils ne sont pas toujours verticaux. Nous en connoissons un dans les carrières de Sèvres, qui ressemble à un long canal oblique, à parois unies, mais sillonnées par un courant; il est rempli de sable quartzeux. Il y en a un assez grand nombre dans les carrières dites *du Loup*, dans la plaine de Nanterre; et tous sont remplis d'un mélange de cailloux siliceux et calcaires dans un sable argilo-ferrugineux.

Le long de la côte, entre Triel et Meulan, la formation calcaire est très-épaisse, et le coteau lui-même très-élevé, présente deux sortes d'exploitations de carrières placées immédiatement l'une au-dessus de l'autre, le calcaire en bas et le plâtre en haut. Ici la formation calcaire présente quelques particularités que nous n'avons pas vues ailleurs. Premièrement les couches y sont inclinées dans quelques endroits, notamment à la sortie de Triel; mais cette inclinaison n'a aucune régularité. Il paroît cependant que toute la masse va un peu en montant du côté de Meulan, et que les bancs qui sont au tiers inférieurs de la côte, se relèvent du côté de la rivière. Ces bancs présentent des sillons longitudinaux, arrondis dans leur fond, et qui semblent avoir été creusés par un courant, ils sont en tout semblables à ceux que nous avons observés près de Houille (1); ces érosions se représentent

(1) Nous connoissons les objections faites par M. de Luc contre une origine semblable attribuée par de Saussure à des érosions qu'il avoit remarquées dans le Salève; ces objections qui peuvent être fondées dans le cas rapporté par M. de Luc, ne nous paroissent pas applicables à celui-ci.

encore sur les rochers calcaires du mamelon d'Issoud, entre Meulan et Mantes, et se continuent jusque vis-à-vis Rolleboise. En second lieu on remarque vers le milieu de la formation calcaire des bancs puissans de sable siliceux, tantôt presque pur, tantôt mêlé de calcaire, mais renfermant toujours des coquilles plus ou moins nombreuses, et changées en calcaire blanc; elles sont très-bien conservées, d'espèces assez variées et analogues la plupart à celles de Grignon. Ce sable est quelquefois friable, comme on l'observe immédiatement à la sortie de Triel; mais plus souvent il est agglutiné en grès, tantôt tendre, blanc et opaque, tantôt dur, luisant, gris et translucide. Ces deux sortes sont mêlées dans la même couche. On prend la plus dure pour paver la route. Toute la côte, jusqu'aux deux tiers de sa hauteur, présente ces bancs de grès coquillier alternant avec des marnes calcaires ou avec du calcaire assez solide, et qui paroît moins coquillier que ce grès. Il ne faut pas confondre ce grès, 1°. avec ceux qu'on trouve près du sommet de la côte, ceux-ci recouvrent le penchant de la colline, ils ne font point partie de la formation calcaire, et ne renferment aucune coquille; 2°. ni avec les grès à coquilles marines qui recouvrent quelquefois les montagnes de gypse, comme à Montmartre, etc. Les grès coquilliers de Triel sont bien certainement au-dessous du gypse et au milieu de la formation calcaire, et ont les plus grands rapports de structure, de formation, de position et même de hauteur avec ceux de Pierrelaye, d'Ezanville, de Louvres, de Moiselles, etc.

Au

Au nord-est de Meulan, à la naissance du joli vallon de Sagy, sont les carrières célèbres de Saillancourt, exploitées pour le compte du Gouvernement et pour l'usage particulier des ponts et chaussées.

Le calcaire marin présente dans ce lieu un aspect un peu différent de celui qu'il offre dans les environs de Paris. C'est une masse sans assises distinctes, laissant voir seulement quelques lignes sinueuses à peu-près horizontales, mais dont les sinuosités ne sont pas même parallèles.

Cette masse calcaire a environ dix-huit mètres d'épaisseur depuis le point le plus élevé jusqu'au lit de sable sur lequel repose le dernier banc. Elle peut être divisée en deux parties.

La partie supérieure, nommée *décomble* par les ouvriers, a dans sa plus grande épaisseur douze mètres cinq décimètres; le calcaire qui la compose est blanc, tendre, même friable, et ne peut guère, par ces raisons, être employé dans les constructions. Elle renferme les coquilles fossiles des couches moyennes du calcaire des environs de Paris, mais ces coquilles sont tellement brisées qu'on ne peut guère en distinguer quelques-unes que dans la partie inférieure de la masse. On y reconnoît quelques cérites, trop altérées pour qu'on puisse en déterminer les espèces, des empreintes du *Citherea nitidula*, le *Nucula margaritacea*, le *Cardita avicularia*, des *Orbitolites plana*. Les parties moyennes de cette masse supérieure présentent, comme à Châtillon, à Saint-Nom, etc. des empreintes de feuilles très-bien conservées, et de la même

espèce que celles des lieux que nous venons de nommer.

On ne voit donc dans cette masse ni marnes argilleuses, ni marnes calcaires fragmentaires, ni chlorite pulvérulente, excepté dans quelques veines de sa partie inférieure, et encore y est-elle fort rare.

La partie inférieure est composée comme celle que nous venons de décrire, et peut-être même plus évidemment qu'elle, d'une masse continue de calcaire généralement jaunâtre, et formé de grains assez gros, mais solidement agglutinés.

Ces grains sont de toute nature ; on y voit un grand nombre de débris de coquilles, des coquilles entières, du sable siliceux et du sable calcaire ; ce dernier semble formé de débris de coquilles enveloppés de plusieurs couches concentriques de calcaire, et de petits corps ovoïdes, que nous n'avons pu déterminer, et qui ressemblent par leur structure à de petites dragées. On y voit aussi beaucoup de grains de chlorite. On trouve dans certaines parties de cette masse des amas de grosses coquilles, ayant quelquefois conservé leur brillant nacré, et absolument semblables à celles des assises à chlorite terreuse de Meudon, de Bougival, etc. Mais ce qu'on y trouve de plus que dans ces derniers lieux ce sont de grands oursins du genre des Cassidules (1). Les orbitolites

(1) Ces oursins fortement engagés dans la pierre sont difficiles à déterminer; mais on en voit assez pour s'assurer qu'ils sont très-différens de l'*ananchites ovatus*, et du *spatangus cor-anguinum* de la craie, puisqu'ils ont *la bouche inférieure et centrale et les ambulacres bornés*. Ils appartiennent donc même à un autre genre et nous paroissent pouvoir être rapportés aux cassidules ou aux clypeastres de M. de Lamarck.

se continuent jusque dans les derniers bancs, qui contiennent, comme fossile caractéristique, des turbinolites. (Fig. 2.)

Quoiqu'il n'y ait point d'assises réelles et distinctes, on y reconnoît cependant des lits de pierre qui diffèrent entre eux par leur couleur, par leur solidité, par la grosseur des grains qui les composent, et même par la nature des fossiles qu'ils renferment. On remarque que, quand on enlève de grandes parties de ces lits, les blocs, en se détachant, indiquent plutôt une stratification oblique qu'une stratification horizontale.

On peut reconnoître, avec les ouvriers, trois qualités de pierre différente dans cette masse inférieure.

1°. *Le banc rouge*, qui est le plus élevé et d'une couleur ocracée. Il est composé de grains très-gros, d'espèces de pisolittes, et renferme principalement des oursins mentionnés plus haut. Il ne contient que rarement des grains de chlorite. Il n'est point continu, et disparoît entièrement dans quelques endroits. Il n'est ni assez solide ni assez durable pour être employé dans les constructions.

2°. *Le banc* que nous appellerons *jaune*, c'est le plus épais. Il est jaunâtre, et généralement composé de grains assez fins et assez solidement agglutinés par un ciment spathique; il renferme beaucoup de chlorite granulée. Son grain devient d'autant plus fin et plus serré, et ce banc est d'autant plus dur qu'on s'enfonce davantage. Sa partie supérieure est même rebutée, parce que la texture en est trop lâche.

3°. *Le banc vert*, celui-ci est le plus inférieur, le plus dur, et contient le plus de chlorite. On y a trouvé outre les fossiles cités plus haut, des glossopêtres. La couleur de ce banc, qui fait dans les constructions extérieures une disparate trop sensible avec celles des autres pierres, en réduit beaucoup l'emploi.

Au-dessous du banc vert on trouve le sable, et il n'y a pas de doute

que si on creusoit davantage, on ne trouvât bientôt l'argile plastique, puis la craie; car l'argile se montre sur le penchant des coteaux voisins, et on voit la craie avec ses silex dans les champs entre Salliancourt et Sagy, et même à l'arrivée de Sagy du côté de Salliancourt.

La masse de calcaire marin exploitée à Salliancourt rentre donc dans les lois de superposition que nous avons reconnues au calcaire des environs de Paris. Les seules différences qu'elle offre existent dans l'épaisseur des couches inférieures plus considérable ici qu'ailleurs, et surtout dans la solidité et dans la durée à l'air des pierres de taille qu'on en extrait. Cette différence est d'autant plus remarquable, que les bancs inférieurs de la formation calcaire donnent généralement une pierre qui devient friable à l'air. Les carrières de Salliancourt présentent donc une sorte d'exception à cette règle; mais cette exception n'est pas même complète; car dans beaucoup de points la pierre du banc jaune est de mauvaise qualité, et dans les lieux où elle est solide et durable on peut remarquer qu'elle doit ces qualités à une infiltration spathique qui la pénètre, et qui lie entre elles ses diverses parties, infiltration que nous n'avons pas eu occasion d'observer dans les couches analogues qu'on trouve à Issy, à Meudon, à Sèvres, à Bougival, etc.

Après Meulan, le calcaire coquillier de Merry et celui qui couronne la craie au-dessus de Jusier, n'offrent rien de particulier. On doit seulement faire remarquer que les bancs inférieurs d'Issoud, qui suivent presqu'immédiatement la craie, renferment de la chlorite, et qu'à Fontenay-Saint-Père, au nord de Mantes, et sur le bord

occidental du plateau, on voit le banc des coquilles analogues à celles de Grignon (1).

§. VII. *Plateau d'est et d'ouest de Paris.*

Pour terminer la description des plateaux calcaires de la rive droite de la Seine, il ne nous reste plus à parler que de deux petites bandes qui bordent la rivière à l'est et à l'ouest de Paris.

Celle de l'ouest s'étend depuis Chaillot, et même probablement depuis le lieu nommé l'*Etoile* jusqu'à Passy. La partie visible de cette colline calcaire forme une bande très-étroite. Vers le N. O. le calcaire paroît s'enfoncer sous le terrain de transport ancien qui forme le sol du bois de Boulogne et de la plaine des Sablons; car, en creusant dans cette dernière, près la porte Maillot, on trouve au-dessous d'une couche de sable mêlée de cailloux roulés, et qui a environ quatre mètres d'épaisseur, les premières couches de la formation calcaire caractérisées, comme nous l'avons dit, par des lits de marne calcaire blanche, renfermant des petits cristaux de quartz et de calcaire spathique.

A la butte de l'Étoile on a creusé jusqu'à huit mètres pour asseoir les fondations de l'arc de triomphe qu'on y construit. On a trouvé des lits alternatifs de sable argileux, de sable calcaire et de marne calcaire sablonneuse (2), mais on n'a point atteint le calcaire en banc.

---

(1) Nous tenons ces derniers renseignemens de M. de Roissy.

(2) *Détail des couches qui composent le sommet de la Butte de l'Etoile, par* MM. Desmarest *fils et* Leman.

		mètres.
1.	Calcaire blanc graveleux en différens bancs	1,30

Nous devons faire remarquer que ces bancs très-distincts s'inclinent un peu du sud au nord, et semblent par conséquent plonger sous Montmartre.

C'est à Passy qu'on voit les bancs calcaires dans leur plus grande épaisseur, ils présentent une masse de 12 à 13 mètres.

Avant d'arriver aux premiers lits de pierre calcaire, on traverse environ vingt-quatre couches, tantôt calcaires, tantôt sablonneuses; les couches supérieures renferment souvent des masses de quartz composées de cristaux lenticulaires, groupés et convergens. Ces masses, connues sous le nom *de quartz lenticulaires*, semblent avoir pris la place du gypse, qui, dans les couches inférieures des carrières de Montmartre, affecte précisément la même forme.

Ces diverses couches forment une épaisseur d'environ 7 mètres. Les bancs calcaires qu'on trouve au-dessous

---

	mètres.
de l'autre part	0.30
2. Marne blanc-verdâtre fissile	0.04
3. Sable calcaire verdâtre	0.52
4. Marne blanche argileuse, en deux bancs	0.30
5. Sable calcaire verdâtre	0.90
6. Sable calcaire gris, veine de sable verdâtre	1.45
7. Sable calcaire jaunâtre, avec filets de sable verdâtre .	1.40
8. Sable calcaire verdâtre	0.80
9. Quartz lenticulaire empâté de marne	0.12
10. Marne sablonneuse jaunâtre	0.50
11. Marne grise compacte	0.06
12. Quartz carié, terreux, jaunâtre	0.20
TOTAL.	7.59

ne contiennent que le *cerithium lapidum* et le *luçina saxorum* Lam. ; ce qui concourt, avec l'observation précédente, à nous apprendre qu'on ne voit dans ce lieu que les couches supérieures de la formation calcaire.

On peut suivre les bancs calcaires au-delà d'Auteuil, de Passy et de Chaillot, et on les perd vis-à-vis Chaillot, à 110 et 150 mètres du bord de la Seine, et vis-à-vis Passy, à 450 mètres. Mais d'après quelques observations que les fouilles qu'on vient de faire dans les faubourgs du nord de Paris nous ont permis de recueillir, il paroît que cette formation, réduite à l'état de marne calcaire jaune, se continue sans interruption de l'ouest à l'est, et forme le premier plateau qu'on monte en sortant de Paris pour aller, soit à Montmartre, soit à Ménil-Montant; nous regardons les marnes calcaires et gypseuses marines qu'on trouve à l'ouest de Montmartre, au-dessous de la troisième masse, qu'on revoit au N. de cette montagne dans la rue des Martyrs et à l'est près de l'hôpital Saint-Louis, comme représentant la formation marine, puisqu'on trouve dans ces trois points des coquilles marines semblables à celles qui caractérisent le calcaire grossier.

A l'est de Paris, on reconnoît à peu près la même disposition, c'est-à-dire qu'il règne sur la rive droite de la Marne et de la Seine une bande calcaire qui s'étend depuis Bercy jusqu'à Saint-Maur. Elle est étroite comme celle de Passy. Elle commence à la barrière de Reuilly; à Bercy elle est à 200 ou 300 mètres de la Seine; vers le nord elle plonge d'abord au-dessous du terrain de transport ancien, qui constitue le sol du bois de Vincennes,

et probablement au-dessous des montagnes gypseuses de Belleville, etc. qui font suite à celles de Montmartre.

On seroit porté à croire, d'après la description précédente, que cette bande calcaire est une suite de celle de Passy, et qu'elle traverse la partie septentrionale de Paris; mais cela n'est point ainsi. Toutes les fouilles qu'on y a faites, soit pour le canal de l'Ourcq, soit pour d'autres travaux, et dont nous avons eu connoissance, nous ont appris que la partie la plus voisine de la Seine est composée d'un terrain de transport moderne, c'est-à-dire des alluvions de la Seine faites depuis la formation de nos continens dans l'état où nous les voyons; que la partie moyenne vers la porte Saint-Denis et la foire Saint-Laurent est située sur le calcaire d'eau douce, et que vers l'extrémité du faubourg, lorsqu'on creuse un peu profondément, on rencontre ou la formation gypseuse, et le gypse lui-même, ou ces marnes marines que nous venons d'indiquer, et qui représentent la formation marine; toutes nos recherches et tous les renseignemens que nous avons reçus de M. Héricart de Thury, nous portent à croire qu'il n'existe pas de vrai calcaire en bancs solides, où pierre à bâtir dans cette partie de Paris.

§ VIII. *Plateau de Maisons.*

Ce plateau est très-circonscrit, car il ne tarde pas à être remplacé vers le S. E. par la formation du calcaire siliceux, c'est le seul point depuis le confluent de la Seine avec la Marne jusqu'à la hauteur de Changy, entre

Meaux

Meaux et la Ferté-sous-Jouarre, où le calcaire marin se montre, et c'est probablement aussi le seul où il existe. Ce petit plateau n'offre d'ailleurs rien de remarquable. Il porte des masses de gypse à son extrémité S. E.

RIVE GAUCHE DE LA SEINE.

§ IX. *Plateau du sud de Paris.*

Ce plateau est un des mieux connus, il fournit le plus grand nombre des pierres employées dans les constructions de Paris. Il est percé de carrières dans une multitude de points. On peut aisément déterminer ses limites. Il comprend la partie méridionale de Paris, et s'étend de l'est à l'ouest depuis Choisy jusqu'à Meudon. La rivière de Bièvre le sépare en deux parties; celle de l'est porte la plaine d'Ivry, et celle de l'ouest forme la plaine de Montrouge et les collines de Meudon.

Dans la plaine d'Ivry, le calcaire marin se trouve presque immédiatement au-dessous de la terre végétale; il n'est recouvert que d'un à deux mètres d'un agglomerat composé de silex roulés et de débris de calcaire enveloppés d'un sable rougeâtre argileux. Le calcaire marin proprement dit est précédé d'environ un mètre de marne ou de sable calcaire.

Le plateau de la plaine d'Ivry se prolonge au nord dans Paris, jusqu'à l'extrémité orientale de la rue Poliveau.

Le plateau de la plaine de Montrouge est séparé du précédent par le vallon où coule la rivière des Gobelins;

ce vallon est creusé assez profondément pour couper tous les bancs calcaires, en sorte que la rivière des Gobelins coule sur l'argile plastique. Les bords de ce plateau dans Paris, forment une ligne qui passe sous l'extrémité méridionale du Muséum d'Histoire Naturelle, et suit les rues Saint-Victor, des Noyers, des Mathurins, de l'École de Médecine, des Quatre-Vents, de Saint-Sulpice, du Colombier et de Sèvres jusqu'à Vaugirard. Sur cette limite les bancs de calcaire marin, n'ont plus aucune solidité, ils sont minces, friables et marneux (1). C'est sous cette portion de la ville que sont creusées ces fameuses carrières qui ont quelque temps menacé la solidité des édifices qu'elles supportent.

Le bord oriental de la plaine de Montrouge présente une disposition à peu près semblable à celle du bord occidental du plateau d'Ivry. Dans les deux carrières que nous avons étudiées particulièrement, au lieu dit *la Croix penchée*, près le petit Gentilly, on trouve les premiers lits de calcaire marin coquillier, dès qu'on a traversé environ 1 mètre de terre meuble, mélangée de pierrailles calcaires et siliceuses. Les couches de marne qui précèdent ordinairement le calcaire coquillier ne se voient point ici. Il y a 15 à 17 mètres de masse; mais les couches inférieures, composées de calcaire sablonneux et formant environ trois mètres, ne sont pas exploitées.

(1) Nous tenons la plupart de ces renseignemens de M. Héricart de Thury, ingénieur des mines, et inspecteur-général des carrières du département de la Seine.

C'est une règle qui n'a pas encore présenté de véritables exceptions (1).

Numéros des couches observées en allant de haut en bas.

(1) *Détail des Carrières de Gentilly.*

N° 1. Marne calcaire avec quelques moules de coquilles bivalves indéterminables.

2 — 4. Calcaire dur, mais presque entièrement composé de cérites, et renfermant aussi quelques autres coquilles :
Cerithium serratum,
Fusus bulbiformis,
Corbula (Lm.)
Cardium Lima,
Miliolites.

5 — 6. Calcaire friable.
Les mêmes coquilles,
Les *miliolites* plus abondantes.

7. Calcaire tendre, coquilles plus rares, surtout les cérites.
Les mêmes espèces qu'aux numéros précédens.
En outre *Corbula anatina*,
Ampullaria acuta ?
Cithœrœa lœvigata ?

8 — 10. Calcaire tendre.
Beaucoup de coquilles, mais tellement brisées, qu'il est presque impossible de déterminer les espèces ; presque plus de cérites.

11 — 13. Calcaire plus dur que le précédent.
Point de cérites.
Corbula anatina,
Lucina saxorum.
Une grande quantité de miliolites.

14 et 15. Calcaire tendre, coquilles non apparentes.

16 — 17. Calcaire dur, entièrement semblable aux n°s 2 — 4.

La formation calcaire paroît s'amincir sensiblement à mesure qu'elle approche du lit de la Seine. Près d'Issy

---

18. Calcaire tendre, coquilles non apparentes.

19 — 20. Calcaire dur, absolument semblable aux n°s 2 — 4, 16 et 17.

21 — 22. Calcaire moins dur que le précédent, renfermant les mêmes fossiles que les n°s 11 — 13.

Ces divers lits réunis forment une masse d'environ quatorze mètres. On remarquera que ces lits ne sont que des subdivisions de la couche puissante qui renferme les *cérites tuberculées* et les *cérites des pierres*, la seule qui soit exploitée. Les assises à coquilles variées, à chlorite granulée, etc. sont situées au-dessous; comme elles ne sont pas exploitées, nous n'avons pu les voir dans le lieu où a été prise cette description; mais en visitant les puits qu'on creuse pour l'exploitation de l'argile plastique, et qu'on ouvre précisément au fond des carrières, nous avons reconnu, en le mesurant nous-mêmes, qu'on traversoit encore 13 mètres de calcaire pour arriver à la glaise, et que les dernières assises étoient composées de sable siliceux, de calcaire jaunâtre, d'une quantité considérable de chlorite granulée d'un beau vert, et de coquilles extrêmement variées et d'un très-beau blanc.

Dans d'autres carrières situées un peu plus au S. O., les marnes qui recouvrent le calcaire marin, et qui paroissent manquer dans celle que nous venons de décrire, présentent la succession de lits suivante :

1 Marne calcaire en fragment.
2 Sable calcaire.
3 Marne calcaire dure.
4 Marne calcaire dure, avec trois petits lits de marne argileuse feuilletée.
5 Sable calcaire fin, avec rognons géodiques, blanchâtre dans sa partie supérieure.
6 Grès calcaire à cérites.
7 Grès calcaire spathique.
8 Calcaire blanc, friable, fissile, à fragmens de coquilles analogues à celles de Pierrelaie.

Nous avons rapporté cette disposition avec détail, parce qu'elle nous offre une nouvelle preuve que le grès de Pierrelaie appartient aux assises supérieures de la formation marine.

on ne traverse guère que 10 à 12 mètres de calcaire pour arriver à la glaise. Dans la plaine de Grenelle, le calcaire a disparu entièrement, et la craie se trouve presque immédiatement au-dessous du sol d'attérissement qui forme cette plaine basse. Ce sol, entièrement composé de silex roulés dans un sable argileux, ferrugineux, est très-épais dans quelques endroits; il a, auprès de l'École Militaire, 6 à 7 mètres d'épaisseur.

Sur les parties inférieures des pentes des collines qui bordent la vallée de la Seine au midi, la glaise n'est recouverte que par des couches minces de calcaire grossier et tendre.

En remontant vers la colline qui est située au S. E. de Vaugirard, entre ce village et Montrouge, on trouve des carrières ouvertes qui font connoître la disposition des couches calcaires, dans cette partie du plateau. Il y a d'abord dix-huit lits de marne calcaire et argileuse, qui forment une masse d'environ 3 mètres d'épaisseur. On voit parmi les lits supérieurs cette couche de sable quartzeux, agglutiné, qui caractérise généralement les premières assises de la formation calcaire; on trouve ensuite les bancs qui renferment les lucines et les cérites des pierres, les corbules anatines, etc. des miliolites en quantité prodigieuse; ces bancs nous ont paru plus puissans ici qu'ailleurs. Au milieu d'eux et immédiatement au-dessous d'un banc rouge presque uniquement composé de cérites, se voit une couche de calcaire marneux qui présente de nombreuses empreintes de feuilles. Cette couche très-mince de feuilles, placée entre des bancs de calcaire

marin, dont les supérieurs renferment les mêmes espèces de coquilles que les inférieurs, est un fait assez remarquable et dont nous allons retrouver bientôt de nouveaux exemples. Cette carrière nous a offert 7 mètres et demi de bancs calcaires exploités; les plus inférieurs contiennent des *cithærea nitidula*, des *cardium obliquum*, des *terebellum convolutum*, et des *orbitolites plana;* il n'y a pas de doute qu'en creusant plus profondément, on ne trouvât le calcaire sablonneux à coquilles de Grignon et à chlorite granulée; mais comme il n'est pas susceptible d'être employé, on n'a aucune raison pour entamer ces bancs. Pour qu'on puisse les voir, il faut que quelques circonstances les mettent à découvert et c'est ce qui a lieu à peu de distance de la carrière que nous venons de détailler. En allant vers Issy on rencontre d'abord des carrières qui ressemblent à la précédente; mais derrière le parc qui dépend de la première maison de ce village du côté de Paris, il y a des escarpemens qui font voir le calcaire sablonneux à coquilles très-variées, et souvent nacrées (1), et à chlorite granulée; ici ces bancs sont visibles, parce qu'ils sont comme relevés par l'île de craie qui se fait voir à Meudon, au milieu du bassin de calcaire grossier que nous décrivons.

On retrouve dans les carrières de Clamart la même couche mince de feuilles très-bien conservées; elle est

---

(1) Il est inutile d'énumérer ici ces coquilles, elles sont absolument de même espèce que celles que nous allons citer plus bas, et que toutes celles des couches inférieures du calcaire.

située au milieu des cérites et des lucines des pierres.

Le monticule calcaire qui porte Fleury et Meudon, quoique placé sur une protubérance de la craie et comme soulevée par celle-ci, présente cependant toutes les couches de la formation calcaire, depuis les plus inférieures jusqu'aux marnes les plus superficielles; il est facile de les suivre dans les diverses carrières placées les unes au-dessus des autres.

On peut observer presque au-dessus de la verrerie, mais un peu vers l'est, la craie, l'argile plastique ferrugineuse qui la recouvre, et les premiers bancs de sable et de calcaire sablonneux à chlorite granulée qui reposent sur l'argile. Ce banc très-épais et situé à environ quarante mètres au-dessus des moyennes eaux de la Seine au bas des moulineaux, est d'un jaune de rouille; il est friable et renferme une grande quantité de coquilles très-variées, mais de même espèce que celles qu'on trouve à Grignon.

Nous avons compté dans cette carrière vingt bancs distincts de marne calcaire et de calcaire marin coquillier, qui forment, en y comprenant le calcaire sablonneux, une masse de 23 à 24 mètres d'épaisseur, dont on trouvera ci-dessous le détail (1). Il n'y a au-dessus que 3 mètres

---

(1) *Carrière de Meudon, au-dessus des crayères exploitées.*

Prise à partir de l'argile plastique qui est au-dessus de la craie.

N° 1. Calcaire friable, d'un jaune d'ocre, plus dur dans certaines parties, se désagrégeant à l'air; il est composé de calcaire à gros grains de sable, de chlorite granulée, et d'une quantité prodigieuse

au plus de marne calcaire sans coquilles, mais on doit remarquer aussi qu'on ne trouve pas les couches sablon-

de coquilles, presque toutes analogues à celles qu'on trouve à Grignon; savoir,

Calyptræa trochiformis.
Terebellum convolutum.
Pyrula lævis.
Voluta harpaeformis.
Turritella imbricata.
— sulcata.
Cerithium giganteum.
Ampullaria patula.
Venericardia imbricata,
Lucina concentrica.
— lamellosa.
Cythærea nitidula.
Pectunculus pulvinatus.
Cardita avicularia.
Cardium porulosum.
Crassatella lamellosa.
Tellina patellaris.
Modiola cordata.
Mytilus rimosus.
Venus texta.
Turbinolites. (Lm.)
Pinna margaritacea.
Orbitolites plana. mètres.

Fongite conique de 15 millimètres. 3.50

N° 2. Banc blanc assez tendre, formé de lits séparés par de la chaux carbonatée farineuse. Il renferme dans ses dernières assises les mêmes espèces de coquilles que le banc n° 1; mais il n'est point friable comme lui, il ne contient point autant de sable, et ne renferme que très-peu de chlorite granulée; il contient des miliolites en très-grande abondance. 3.10

3. Banc tendre d'un blanc jaunâtre, renfermant des empreintes blanchâtres rhomboïdales allongées de 15 millimètres de lon-

neuses

neuses et quartzeuses qui caractérisent les marnes superficielles.

---

gueur, ressemblant à des feuilles. On ne peut y voir aucune nervure, et nous soupçonnons que ce sont des empreintes de *flustres*. . . . . mètres. 1·00

N° 4. Banc tendre. Il est très-tendre, et même friable. On y voit des *terebellum convolutum*, et des veines plus jaunes, formées d'une pâte grossière de coquilles brisées. . . . . . . 0·70

5. Calcaire plus dur, plus grossier que le précédent; encore quelques orbitolites; beaucoup de miliolites. . . . . 0·40

6. (La Roche des Carriers). Calcaire jaune dur, surtout vers son milieu, quoiqu'à grain grossier, renfermant beaucoup de moules de coquilles, notamment

Miliolites.
Cardium Lima?
— *obliquum.*
Turritella imbricata.
Ampullaria spirata?
Cerithium serratum en grande quantité. . . . . 1·20

Un filet de marne argileuse feuilletée le sépare du banc suivant.

7. Calcaire dur jaunâtre très-coquillier, renfermant les mêmes espèces de coquilles que le n° précédent, et de plus, *Lucina saxorum*. . . . . 0·15

8. Calcaire moins dur, très-peu coquillier, fragmens indéterminables . . . . 0·12

9. Calcaire très-friable, se divisant en feuillets perpendiculaires, renfermant des masses dures et quelques coquilles bivalves blanches qui paroissent être des fragmens de la lucine des pierres. 0·60

10. Calcaire gris assez dur, mais fragile, et même friable dans sa partie inférieure . . . . 0·61

Coquilles. *Cerithium serratum.*
Lucina saxorum.
Miliolites, etc. et autres coquilles des n°s 7 et suivans.

11. Calcaire jaunâtre assez compacte, presque point de coquilles, des miliolites. . . . . 0·22

Ces couches se retrouvent dans des carrières plus élevées que celles-ci, et situées au-dessus des mouli-

---

N° 12.	Calcaire très-coquillier, presque toutes les coquilles sont des *cerithium serratum* et des *ampullaria spirata?* On y voit aussi quelques lucines des pierres, quelques *cardium lima* et des miliolites. Il est dur à sa partie inférieure, et friable à sa partie supérieure.	mètres. 0·92
13.	Calcaire à grain fin, assez compacte, argileux, et même fissile dans sa partie inférieure, ayant la cassure conchoïde dans son milieu, des fissures perpendiculaires très-nombreuses, dont les parois sont teintes en jaune d'ocre, et couvertes de dendrites. Il ne renferme que des *cerithium lapidum*, des corbules lisses, et peu de miliolites.	0·25
14.	Calcaire jaune un peu rougeâtre, dur dans sa partie supérieure, composé d'une pâte de coquilles brisées. On y trouve des cérites, des corbules et des miliolites comme dans les couches précédentes.	0·30
15.	Calcaire dur très-compacte en lits minces, ondulés, renfermant quelques coquilles entières dans son épaisseur, et beaucoup de coquilles écrasées à sa face inférieure. Mêmes espèces que dans le précédent. Epaisseur variable.	0·05
16.	Calcaire dur, compacte, avec dendrites noires, ne renfermant que des cérites lisses. (*Cerithium lapidum*). L'épaisseur de ce banc est variable, il se réduit presque à rien dans certains points, et est remplacé par de la marne blanche à retrait prismatique, qui paroît venir de la couche supérieure.	0·15
17.	Couche de marne calcaire, composée, en allant de bas en haut, 1°. de rognons ovoïdes pesans, remplis de larges fentes dans leur milieu; ces fentes sont quelquefois tapissées de petits cristaux blancs de chaux carbonatée; le tout est entièrement dissoluble dans l'acide nitrique. 2°. De masses blanches comme crayeuses. 3°. D'un lit inégalement renflé de marne calcaire dure, remplis de noyaux de cérite lisse (*cerithium lapidum*), et d'un lit de marne calcaire dure, à fissures perpendiculaires, sans coquilles apparentes. . .	0·25

neaux ; on y trouve même du quartz lenticulaire, comme à Passy.

Les marnes sablonneuses, calcaires et argileuses, ne

Nº 18.	Marne calcaire assez compacte, mais fragmentaire, les fissures couvertes d'un enduit jaunâtre et de dendrites noires ; coquilles très-rares, probablement cérites lisses . .	mètres. 0.90
	Ce banc est divisé en quatre assises ; on remarque des rognons vers la partie supérieure, il est séparé du banc suivant par une petite couche d'argile.	
19.	Marne calcaire friable, tendre, assez fissile	0.1
20.	Marne calcaire grise, friable, poreuse, renfermant très-peu de coquilles, quelques cérites et quelques bivalves indéterminables.	1.0
	Total des bancs calcaires renfermant des coquilles environ	26$^{\text{mèt.}}$
21.	Marne sablonneuse et argileuse très-tendre	0.22
22.	Marne calcaire friable blanche, marbrée de jaune pâle, renfermant dans sa partie supérieure des parties dures cariées à cassure spathique, et dont les cavités sont tapissées de chaux carbonatée en très-petits cristaux.	
	La partie inférieure présente des veines et des petits rognons de calcaire spathique transparent	0.50
23.	Marne calcaire d'un blanc jaunâtre, homogène, tendre, surtout vers les assises inférieures	1.02
24.	Marne calcaire ferrugineuse, rubannée de jaune et de blanc, très-friable, avec des parties dures dans ses assises inférieures	0.20
25.	Calcaire dur, spathique, en rognons irréguliers. Epaisseur moyenne	0.10
26.	Marne calcaire très-friable, avec quelques filets jaunâtres horizontaux. Jusqu'à la terre végétale	0.80
	Total de la marne calcaire sans coquilles environ .	3$^{\text{mèt.}}$

forment qu'une masse de 3 mètres, on ne voit guère que 16 mètres de la masse de calcaire coquillier qu'elles recouvrent. Les bancs sablonneux inférieurs n'ont point été mis à découvert; mais dans une autre carrière très-élevée, située précisément à l'est du château de Bellevue, on voit très-distinctement, en allant de bas en haut :

1°. Une masse de sable, d'un blanc grisâtre, veinée de jaune;

2°. Un banc puissant de calcaire grossier, pétri de chlorite granulée d'un beau vert, et de coquilles nombreuses très-blanches.

3°. Le calcaire grossier d'un blanc jaunâtre; il est ici très-tendre.

§ X. *Plateau du Mont-Valérien.*

La vallée de Sèvres forme sa limite à l'est, et celle de Marly sa limite à l'ouest. Le grand coteau sableux qui porte la forêt de Marly, couvre au S. O. tous les plateaux qui bordent immédiatement la rive gauche de la Seine. Le vallon de Sèvres, depuis son embouchure jusqu'à Chaville est bordé sur ses deux côtés, de carrières nombreuses; les bancs de bonne pierre y sont plus rares que dans les carrières du plateau de Montrouge, et nous croyons pouvoir en indiquer la cause. Nous avons déjà dit que les couches calcaires les plus inférieures, celles qui se rapprochent le plus de la craie étoient presque toujours sablonneuses et même friables, d'un jaune ferru-

gineux, et pénétrées de chlorite ; que lorsqu'elles étoient solides dans la carrière , elles ne tardoient pas à se désaggréger à l'air et à tomber en poussière , de sorte qu'on n'exploitoit jamais ces derniers bancs , même quand ils se présentoient à fleur de terre.

La craie qui se montre au jour, et dans une position très-relevée, non seulement à Meudon, mais encore à Sèvres au pied de la colline de Bellevue, et dans le parc de Saint-Cloud au pied du pavillon d'Italie, a rehaussé tous les bancs calcaires, en sorte que la plupart des carrières, et surtout celles du bas de Sèvres, ne présentent que les bancs inférieurs du calcaire grossier, ceux qui sont les plus voisins de la craie. La roche, c'est-à-dire les bancs durs à cérites , y manquent quelquefois entièrement ; et quand ils s'y trouvent, ils sont minces ; ou enfin s'ils sont épais, ils donnent une pierre qui se détruit à l'air par partie, et qui est généralement de mauvaise qualité.

Sur la gauche en montant on trouve d'abord les carrières qui sont au pied du plateau de Bellevue, ensuite celles de la manufacture de porcelaine, et on en trouve ainsi de distance en distance jusqu'à Chaville.

Sur le côté gauche du vallon, nous regardons, comme la première carrière , celle qui est dans le parc de Saint-Cloud , presque en face du pavillon d'Italie ; tout le bord du plateau calcaire de Saint-Cloud est ainsi percé de carrières jusqu'à Chaville.

Ces carrières que nous avons examinées avec soin et

dont on trouvera ci-desous les détails (1), offrent quelques particularités.

---

(1) *Carrières de Sèvres, en partant des couches visibles les plus inférieures. — Seconde Carrière en montant.*

		mètres.
N° 1.	Calcaire jaunâtre pointillé de blanc friable. Miliolites et moules intérieurs de turritelles. (Comme c'est le plus inférieur, et qu'on n'a pu le voir en entier, il n'a pas été mesuré).	
2.	Calcaire jaune tendre, séparé du précédent par une couche d'argile très-mince, avec des moules intérieurs de coquilles indéterminables, d'*Arca scapulina*, de tellines, de turritelles, de miliolites	0.18
3.	Calcaire plus dur . . . . *Cerithium rugosum.* — *thiara ?* — *lamellosum.* *Cardium Lima.* *Miliolites.*	0.34
4.	Banc tendre d'un cendré verdâtre lorsqu'il est humide, nommé à cause de cela *banc vert*, ne renfermant que peu de coquilles; partie inférieure plus tendre, remplies d'empreintes brunes de feuilles posées à plat. Partie supérieure plus dure, présentant des fissures remplies de calcaire jaune grossier	0.50

Troisième Carrière.

N° 1.	Calcaire jaunâtre, peu dur, renfermant peu de coquilles, mais de grandes coquilles bivalves, avec des infiltrations siliceuses et des silex coquilliers à sa partie inférieure . .	1.50
	On voit dans le calcaire, au-dessous des silex, des miliolites et des moules peu entiers de cithérées, de cérites, d'ampullaires, de cardium; mais les espèces ne sont pas déterminables.	
	Ces silex renferment une grande quantité de coquilles; comme ce ne sont que des moules intérieurs, elles sont	

On trouve dans les lits supérieurs de marne sans coquilles, et même dans les assises supérieures du calcaire

---

très-difficile à déterminer, nous avons cru pouvoir y reconnoître les espèces suivantes :

Cerithium serratum.
Ampullaria spirata ?
Cithœrea elegans ?
Venus callosa ?
Cardium Lima.
Lucina saxorum.
Miliolites.

N° 2.	Calcaire marneux, très-friable, renfermant des empreintes de feuilles et quelques coquilles brisées dans sa partie supérieure	mètres. 0.40
3.	Calcaire blanc assez compacte, dur, renfermant beaucoup de cérites des pierres	0.80
4.	Calcaire jaunâtre tendre, renfermant des miliolites et quelques cérites	0.40
	Nous y avons vu un fragment du *Pinna margaritacea.*	
5.	Calcaire jaunâtre dur, renfermant des miliolites, des *cerithium serratum*, des ampullaires et des cithérées ; le tout brisé.	1.00
6.	Calcaire jaunâtre très-dur ; mêmes espèces que dans le n° précédent ; très-peu de miliolites.	
	Il renferme vers sa partie supérieure une zone continue de silex, rubané de calcaire	0.50
7.	Calcaire marneux tendre, avec une zone dure, et très-fragmentaire vers son milieu	0.60
8.	Banc d'argile continu, recouvert d'une couche de sable calcaire blanc.	0.15
	Dans quelques endroits, ce sable devient plus pur, et s'agglutine même en silex corné zonaire.	
9.	Calcaire jaunâtre assez dur, rempli de fragmens blancs de coquilles qui sont des *cerithium serratum*, des *corbula striata?* S'il y a des miliolites, ils y sont rares.	0.60

proprement dit, des couches de sable à gros grains, souvent mêlé de calcaire ou pénétré d'infiltration calcaire; quelquefois la matière siliceuse s'est aggrégée de manière à former des bandes de silex corné (Hornstein). Cette disposition se voit dans la carrière du parc de Saint-Cloud, dans celle de la butte de Bellevue et dans la troisième carrière du côté gauche du vallon de Sèvres; dans cette même carrière, les bancs qui appartiennent à la famille des ampullaires, des cérites et des grandes cythérées, renferment ces mêmes coquilles dont le vide est rempli de silex noir; lorsque ce vide a été trop grand, comme dans les cythérées, pour être rempli entièrement, les parois sont tapissées d'espèces de stalactites siliceuses, contournées comme le flos-ferri et souvent hérissées de très-petites pointes de quartz. On trouve dans ces mêmes couches des lits de silex pyromaque, comme pétris de coquilles des genres précédens; les cavités de ces coquilles renferment de l'eau qu'on en voit sortir en cassant ces silex, long-temps même après leur extraction de la carrière; cette eau n'a aucune saveur, et ne nous a paru avoir aucune action sur le nitrate d'argent.

Enfin, au milieu des bancs à cérites, se trouve un lit de calcaire marneux, présentant des empreintes de diverses plantes; elles sont noires, charbonneuses, et parconsé-

---

On trouve à sa face inférieure une couche d'argile qui renferme les mêmes coquilles écrasées.

N° 10.	Banc de calcaire sableux, et même un peu spathique et carié	mètres. 0·60

quent

quent friables; ces empreintes, quoique peu reconnoissables, ne ressemblent cependant point aux empreintes de feuilles, dont nous avons parlé précédemment. Nous devons seulement faire remarquer à leur sujet, qu'elles se trouvent dans les mêmes couches calcaires que celles de Châtillon, etc., c'est-à-dire au milieu des cérites; mais qu'au lieu d'être dans un banc de calcaire solide, comme dans les lieux cités plus haut, elles se trouvent dans une marne calcaire friable.

En suivant ce plateau du sud au nord, on y rencontre encore d'autres carrières qui en font voir la structure. On en trouve d'abord une derrière le palais de Saint-Cloud et dans l'enceinte même de ce palais. Il y en a deux autres sur la pente S. E. 1°. Une au S. E. du Mont-Valérien du côté de Surêne et presque au pied de ce monticule, ce qui est une nouvelle preuve de la position du gypse sur le calcaire marin; 2°. deux autres sur les deux côtés de la route en descendant au pont de Neuilly. C'est dans les couches de marnes calcaires de celles-ci qu'on a trouvé ce lit de quartz cristallisé dodécaëdre bisalterne, mêlé de chaux carbonatée équiaxe et de chaux fluatée (1), dont nous avons fait mention plusieurs fois. Nous donnons en note (2) la succession des couches qui renferment ces quartz et la chaux fluatée.

Sur la pente nord-ouest du même plateau on re-

---

(1) C'est M. Lambotin qui a reconnu le premier la présence de la chaux fluatée en petits cubes jaunâtres dans cette couche. Il l'a vue d'abord près du Marché aux Chevaux, au S. E. de Paris, ensuite à Neuilly.

(2) Les carrières et escarpemens du N. et du S. de la route sont générale-

marque les grandes et belles carrières de Nanterre qui bordent les deux côtés de la grande route, à la descente du plateau; ni ces carrières, ni celles du *loup*, qui se trouvent plus au nord et qui ont une étendue imposante, ne nous ont offert aucune particularité. On sait qu'on trouve sur les parois des fissures des carrières de Nanterre, ce calcaire cotonneux, qu'on nomme vulgairement *farine fossile*.

En suivant le bord septentrional du plateau que nous décrivons on arrive aux crayères de Bougival; elles sont surmontées, comme celles de Meudon, de bancs de calcaire marin : les plus inférieurs de ces bancs sont friables, et remplis de chlorite; ils contiennent en outre des coquilles marines, souvent nacrées et d'espèces très-variées semblables à celles de Grignon; ces bancs reposent sur une couche de sable très-épaisse. Cette disposition est donc absolument semblable à celle qu'on observe à Meudon sur le bord méridional du même plateau.

---

ment semblables entre elles. Les couches supérieures qui renferment le quartz, etc. se suivent ainsi en allant de haut en bas.

N° 1. Marne calcaire en fragmens irréguliers.

2. Banc puissant de calcaire extrêmement friable, renfermant des moules de coquilles marines, assez variées, mais dans lesquelles nous n'avons pu reconnoître que le *cardium obliquum*.

3. Marne compacte fragmentaire.

4. Marne blanche friable.

5. Sable quartzeux et quartz.

6. Marne blanche avec rognons et zones horizontales, remplies ou composées de calcaire spathique et cristallisé de la variété équiaxe? mêlé de petits cristaux de quartz bisalterne et de chaux fluatée.

7. Marne blanche friable.

§ XI. *Plateau de Saint-Germain.*

On sait qu'on monte rapidement lorsqu'on veut gagner le sommet de ce plateau à Saint-Germain même. Ses bords escarpés présentent la coupe des couches calcaires qui le composent : on voit dans ses couches inférieures les grains de chlorite et les espèces de coquilles qui annoncent le voisinage de la craie.

La colline de Lucienne appartient à ce plateau; les fouilles qu'on vient d'y faire, depuis le pied de l'aqueduc de Marly qui est situé sur le sable de son sommet, jusqu'au premier réservoir de Marly près de sa base, font très-bien connoître la nature de cette colline et nous offrent une nouvelle confirmation des règles de superposition que nous avons reconnues; car on a percé successivement les sables sans coquilles des hauteurs, les marnes du gypse, le calcaire marin jusqu'à l'argile plastique qui recouvre la craie, et qui a ici une épaisseur considérable. On peut en lire les détails dans la note ci-dessous (1).

---

(1) On réunit ici les différens terrains traversés par les cinq puits qui sont situés les uns au dessus des autres. On n'a trouvé le sable des hauteurs que dans le premier et le second puits.

N° 1. Sable jaune argileux sans coquilles.

2. Sable jaune plus argileux.

3. Sable noirâtre argileux, renfermant des silex roulés, altérés, devenus blancs et opaques.

4. Marne noirâtre argileuse, sableuse, et un peu calcaire. On a trouvé au milieu de cette couche, dans le premier puits, une côte de *Lamantin* très-bien caractérisée, changée en un silex noirâtre.

Ce plateau descend au nord en pente insensible vers la Seine, et se confond avec le terrain d'alluvion, par lequel il est en grande partie recouvert.

Nous ne connoissons l'extrémité occidentale de ce plateau, qui se prolonge jusqu'à Bouaffle, que par l'examen que nous en avons fait de la rive droite de la Seine, et par les renseignemens que nous avons reçus.

En revenant sur nos pas, nous allons reprendre le plateau calcaire qui s'étend de Versailles jusqu'à Meaulle.

N° 5. Marne calcaire renfermant des huîtres fossiles. (*Ostrea linguatula*. Lm.)

6. Marne calcaire compacte.

7. Marne argileuse.

8. Marne argileuse verte, à peine effervescente.

9. Marne calcaire très-compacte.

10. Silex pyromaque en rognons, enveloppé de calcaire blanc crayeux, mêlé de silice.

11. Calcaire marin, grenu, friable, sans coquilles apparentes.

12. Calcaire marin grossier à coquilles blanches très-variées et à chlorite verte granulée, très-abondante.

13. Argile noire sableuse, renfermant des coquilles blanches friables, qui paroissent être des cythérées nitidules et des turritelles. On y a trouvé aussi du bois charbonné, des pyrites et du bitume asphalte. Elle est quelquefois précédée de silex roulés.

14. Argile plastique grise, marbrée de rouge, sans coquilles.

On reconnoît, du n° 1 à 3 inclusivement, la formation du sable sans coquilles. — Du n° 4 au n° 8 ou 9, la formation marine qui recouvre le gypse. Il paroît que le gypse, et par conséquent que la formation d'eau douce inférieure manque. — Du n° 9 ou 10 au n° 12 la formation de calcaire marin qui paroît être très-mince ici, parce que la craie et l'argile plastique sont très-relevées. — Les n°s 13 et 14 appartiennent à la formation de sable et de l'argile plastique qui précède la craie.

§ XII. *Plateau de Villepreux.*

Ce plateau semble être la partie méridionale du grand plateau calcaire qui s'étend de Sèvres à Bouaffle, et dont nous venons de décrire la partie septentrionale et les deux appendices ; sa partie moyenne est recouverte par la grande bande sablonneuse qui s'étend sans interruption de Ville-d'Avray à Aubergenville.

Il est percé de carrières, dont l'ouverture est peu élevée au-dessus du fond de la vallée; car ce plateau calcaire, recouvert d'une masse considérable de marne argileuse et de sable, est généralement bas et ne présente que peu d'escarpemens. Il va toujours en s'abaissant vers le sud et disparoît entièrement, sous les masses de sable de la Beauce, dont la nappe immense et non interrompue commence sur le bord méridional de la grande vallée, qui s'étend depuis Versailles jusqu'à la rivière de Maudre; aussi les carrières n'existent-elles guère que sur le bord septentrional de ce vallon.

Ce plateau calcaire nous offre sur son bord méridional, trois points intéressans : Saint-Nom, Grignon et Meaulle.

Aux environs de Saint-Nom, c'est-à-dire au pont de Noisemont près de Villepreux, d'une part, et au pont de Fontaine sur la route de Meaulle de l'autre, on retrouve le lit de calcaire qui présente des empreintes de feuilles parfaitement semblables à celles de Châtillon; elles sont, comme celles-ci, dans une assise de calcaire dur, à

grain assez fin et en plaques minces ; la partie de ces plaques qui présente les empreintes végétales, n'a peut-être pas trois centimètres d'épaisseur ; et cependant on voit combien cette couche mince avoit d'étendue. Les feuilles sont mêlées ici, comme à Châtillon, à Sèvres et à Saillancourt, avec des cérites et des lucines des pierres et placées plutôt vers la partie inférieure du banc de cérite, que vers sa partie supérieure. On reconnoît aussi fort bien, dans ces carrières, la position du banc de cérite toujours supérieur à tous les autres.

Nous avons examiné ces empreintes de feuilles, avec MM. de Jussieu, Desfontaines, Correa, Decandolle, etc. Le plus scrupuleux examen ne nous a pas permis de déterminer même les genres de plantes auxquels elles peuvent être rapportées ; quelques-unes ont de grandes analogies avec les feuilles du Nérium. Mais cet examen nous a prouvé que la plupart de ces feuilles n'avoient pu appartenir à des plantes marines proprement dites, et cependant elles se trouvent au centre des bancs de calcaire marin et au milieu des coquilles marines les mieux caractérisées. Quant à l'habitation des tiges plates, articulée (*fig.* 1, EFG), qui se trouvent mêlées avec ces feuilles, elle est douteuse.

Le hameau de Grignon, célèbre par l'amas étonnant de coquilles fossiles que renferme son parc, est situé dans ce même vallon et vers son embouchure, entre les craies apparentes à Chavenay et celles qui forment les collines de Mareil.

Le banc coquillier se fait voir déjà près de Galluy

ensuite aux environs de Villepreux, mais il est dans ces lieux plus solide qu'à Grignon.

En examinant la couche friable qui renferme ces coquilles, on remarque aisément qu'elle appartient aux couches moyennes et inférieures du calcaire; elle offre les fossiles variés, et les sables siliceux qui s'y voient constamment.

On remarque, en allant de bas en haut, la succession suivante de couches :

N° 1. Calcaire grossier assez solide, quoique grenu, sableux, et même friable en partie, renfermant beaucoup de coquilles et de la chlorite granulée. C'est le sol inférieur du terrain de Grignon. Il faut donner quelques coups de pioches pour le voir.

Nous y avons reconnu ce petit polypier en forme de dez à coudre que M. de Lamarck décrit sous le nom de *Lunulites*, et qu'on trouve à Lallery, près Chaumont, mais que nous n'avions pas encore vu dans la couche n° 2 de Grignon. On y trouve aussi, mais très-rarement, des portions du même *spatangus* que nous avons cité comme fort commun à Saillancourt.

2. Calcaire jaunâtre grossier, grenu, sableux, friable, et sans aucune consistance, renfermant la quantité prodigieuse de coquilles marines fossiles, qui sont particulièrement citées à Grignon. Il ne renferme ni les nummulites, ni les turbinolites, ni les fongites, ni les *venericardia costata*, ni la chlorite des bancs inférieurs; il ne renferme point non plus les cérites des bancs supérieurs.

Les coquilles y sont pêle-mêle, quelquefois par amas ou filon; elles sont bien conservées, faciles à détacher de leur gangue; plusieurs ont conservé les points ou lignes jaunes qu'elles avoient avant d'être fossiles. On trouve beaucoup de coquilles bivalves avec leurs deux valves réunies, notamment le *crassatella sulcata.* Ces coquilles, quoique parfaitement fermées, sont remplies du même sable calcaire coquillier qui les entoure; ce qui semble prouver qu'elles sont restées long-temps ouvertes au milieu de ce sable après leur mort, en sorte que le sable calcaire qui les entouroit a pu y pénétrer, et qu'elles n'ont été fermées ensuite que par la compression des couches

qui se sont déposées au-dessus d'elles. Cette disposition doit forcer aussi d'admettre dans l'eau qui les recouvroit une grande tranquillité.

Ce banc est de 5 à 6 mètres d'épaisseur. Il paroît qu'on y a trouvé des lits durs, composés d'un calcaire moins grenu, mais renfermant les mêmes coquilles, et notamment le *cardium aviculare*, et présentant les empreintes des plantes articulées dont nous donnons la figure (fig. 6). Nous n'avons pu parvenir à voir ces pierres en place.

N° 3. Banc de calcaire tendre à grain fin, renfermant moins de coquilles que le précédent, mais offrant dans ses fissures des empreintes jaunes de feuilles, qui ressemblent à des feuilles de graminées aquatiques, ou à des feuilles de fucus. On y voit aussi des empreintes de *flustra* et de polypiers. Ces empreintes sont recouvertes des petits spirorbes qui habitent ordinairement sur ces corps, et qu'on prendroit au premier aspect pour des planorbes.

Ce banc paroît correspondre à celui qui renferme les empreintes de feuilles que nous avons reconnues et citées à Châtillon, Saint-Nom, etc.

4. Calcaire tendre fissile, renfermant principalement la lucine des pierres.

5. Calcaire tendre fissile, ne renfermant presque point de coquilles.

6. Calcaire plus dur, souvent même assez dur, mais se désaggrégeant facilement, surtout vers la surface du sol, et renfermant une quantité prodigieuse de cérites de diverses espèces, et quelques autres coquilles. Savoir,

Ancilla buccinoides.
Voluta Cythara.
Fusus bulbiformis.
Pleurotoma lineata.
Turritella subcarinata.
Melania costellata.
Miliolites.
Phasianella turbinoides.
Cerithium lapidum.
— *cristatum.*
— *Thiara.*
— *clavatulum.*
— *lamellosum.*
— *mutabile.*
Natica cepacea.
Ampullaria acuta.

Venus

Venus Scobinella.
Cardium obliquum.
Lucina saxorum.

Vers la partie la plus supérieure de ce banc on trouve quelques individus fort rares du *cyclostoma mumia*.

On voit donc ici toujours la même succession de fossiles, et cette partie du plateau calcaire n'est remarquable que parce que les coquilles y sont réunies en bien plus grand nombre, et que les bancs qui les renferment y sont plus friables qu'ailleurs, ce qui permet d'en extraire les coquilles facilement et dans leur entier.

Nous ne donnerons aucun détail ni sur le nombre ni sur les espèces de fossiles qu'on trouve à Grignon. Nous avons dit, dans le premier chapitre, que M. Defrance y avoit compté près de six cents espèces différentes, et qu'elles avoient été décrites et figurées pour la plupart par M. de Lamarck (1). Il nous suffit de faire remarquer que toutes les coquilles de la couche de calcaire sableux, quoique bien conservées, sont pêle mêle, tandis que

(1) M. de Lamarck décrit, parmi les coquilles de Grignon, qui sont toutes marines, plusieurs espèces de coquilles qui appartiennent à des genres dans lesquels on ne devroit trouver que des coquilles d'eau douce. Cette contradiction apparente vient de deux causes. 1°. Il décrit des coquilles réellement d'eau douce qui se trouvent bien à Grignon, comme le *cyclostoma mumia*, le *limneus palustris*; mais elles se trouvent à la surface du sol, et non dans le banc de coquilles proprement dit; 2°. il cite des mélanies, des planorbes, etc. qui font partie du banc de coquilles marines; mais en examinant avec quelqu'attention les espèces qu'il rapporte à ces genres, on voit qu'elles n'en ont pas les caractères, qu'elles diffèrent des coquilles d'eau douce renfermées dans ces mêmes genres, et qu'elles doivent faire, comme M. de Lamarck en convient, des genres distincts. (*Voyez* le Mémoire que l'un de nous a publié sur le terrain d'eau douce et sur la description de ses coquilles, *Annales du Muséum*, tome XV.)

les empreintes végétales et les cérites sont placées séparément et dans les couches supérieures, comme nous venons de le dire plus haut.

Le plateau de Villepreux est terminé à l'ouest par le vallon où coule la Maudre. Les coteaux qui bordent ce vallon, depuis environ une lieue au-dessus de Beyne jusqu'à son embouchure dans la Seine, sont de craie à leur base, et de calcaire marin à leur sommet.

Cette craie est recouverte, comme partout, d'une terre argillo-sablonneuse rougeâtre, renfermant une grande quantité de silex. Le bois de Beyne, situé à l'ouest de ce village, est posé sur ce terrain; mais en sortant de ce bois, du côté de Lamarre-Saulx-Marchais, on trouve dans une plaine un peu inclinée vers le nord, et à des différences de niveaux très-légères, les successions de terrain suivantes:

1°. Dans la partie déclive un sol argilo-sablonneux rougeâtre, mêlé de silex et de craie *sans aucune coquille.*

2°. En remontant un peu, c'est-à-dire d'un ou deux mètres au plus, on trouve dans ce même sol une quantité prodigieuse de coquilles qui appartiennent aux couches inférieures du calcaire grossier. Les espèces principales, c'est-à-dire les plus abondantes, sont:

Patella spirirostris.
Ancilla canalifera.
— *buccinoïdes.*
Mitra terebellum.
Voluta muricina.
Fusus longævus.
— *bulbiformis?*
Pyrula lævigata.

Ampullaria patula.
Solarium plicatum.
Turritella sulcata.
— *imbricata*, en quantité immense.
Venericardia planicosta.
Crassatella compressa.
— *sulcata.*
Cytherea nitidula.
— *semisulcata.*
Pectunculus pulvinatus,
Trois espèces d'huîtres que nous n'avons pu déterminer.

Les coquilles, qui se trouvent dans la transition d'une formation à une autre au milieu des silex, sont pêle-mêle, et généralement brisées. Nous n'avons pu découvrir, parmi les milliers de *turritella imbricata* que nous avons vus, un seul individu entier.

3°. En remontant encore de quelques mètres, et surtout en allant vers l'ouest, on voit à une portée de fusil une petite carrière de calcaire grossier, friable, sans aucune consistance, en un mot, à l'état de sable comme celui de Grignon, ce sont les couches moyennes et supérieures du calcaire grossier. Les coquilles qu'elles renferment sont disposées comme à Grignon, également bien conservées, quoique très-fragiles; mais l'épaisseur du tout est beaucoup moins considérable. On y reconnoît la succession suivante de lits (1).

N° 4. (1) Calcaire sableux, chlorite granulée et immense quantité de coquilles.

N° 5. Calcaire sableux, sans chlorite, moins de coquilles; une petite zone plus dure sépare ces deux lits.

N° 6. Calcaire sableux, et quantité prodigieuse de coquilles; ce lit est un peu plus dur que les précédens.

Les coquilles renfermées dans ces trois lits appartiennent absolu-

(1) Ces numéros se rapportent, en allant de bas en haut, aux lits de la coupe figurée que nous donnons de ce lieu.

ment aux mêmes espèces que celles du lit friable de Grignon. Il est donc inutile de rapporter ici l'énumération que nous en avons faite.

N° 7. Calcaire friable, avec des morceaux irréguliers, durs, saillans, rangés sur deux ou trois lignes horizontales parallèles, renfermant quelques coquilles mal conservées.

N° 8. Sable siliceux et calcaire, renfermant quelques espèces de coquilles, et notamment une quantité innombrable de cérites. Les espèces de coquilles que nous avons vues dans ce banc, sont:

Voluta muricina, un seul fragment.
Buccinum ?
Pleurotoma punctatum ?
Cerithium lapidum, extrêmement abondant.
— *angulosum ?* assez abondant.
— *cristatum*, très-abondant.
— *clavatulum.*
— *mutabile.*
— *lamellosum.*
Turritella subcarinata.
Melania multisulcata ? assez abondant.
Dentalium. . . . . . ?
Ampullaria . . . . . ?
Lucina saxorum, très-commun.
Nucula. . . . . . . ? la même espèce qu'on trouve dans les grès de Beauchamp, etc.
Corbula.

Les cérites sont aux autres coquilles comme 100 à 1. Elles sont disposées en un lit d'un à deux décimètres d'épaisseur, horizontal et parfaitement régulier. Elles sont bien entières, mais très-fragiles.

N° 9. Terre végétale, 5 à 6 décimètres, mêlée d'un grand nombre de cérites.

En descendant le vallon de Maudre, on trouve le bourg de Maulle. Nous avons encore visité et étudié dans ce lieu les bancs de calcaire grossier qui recouvrent la craie; et nous avons reconnu, dans la superposition de ces bancs, exactement le même ordre que dans les couches calcaires des autres collines. Ainsi les bancs les plus

inférieurs sont friables comme à l'ordinaire, ils renferment de grosses coquilles fossiles et des grains de chlorite; au-dessus se trouvent des couches de pierre calcaire plus dure sans chlorite. Vers le sommet on trouve le premier grès marin; il renferme ici, dans sa partie inférieure, des concrétions siliceuses, cylindroïdes et rameuses, grosses comme des fémurs humains, presque toujours creuses, mais dont la cavité est tantôt garnie de stalactites de silex, tantôt remplie de silex noir. Ces concrétions, très-nombreuses dans cette couche sablonneuse, pourroient être des zoophites fossiles, voisins du genre des antipathes. On sait que l'axe de ces zoophites est corné et plus tendre que leur écorce : il aura laissé, en se détruisant, la cavité que l'on voit dans ces fossiles. Au-dessus, mais dans le même banc sablonneux, est un lit de coquilles entièrement silicifiées: ces coquilles ne sont pas seulement des cérites. On y trouve aussi des *cardium obliquum*, des ampullaires; des cythérées élégantes, des lucines des pierres et la plupart des autres coquilles du grès marin; nous avons observé ces diverses particularités dans les carrières à l'ouest de Maulle.

Au sud, c'est-à-dire en montant vers Saint-Jacques, on voit également du calcaire grossier placé immédiatement sur la craie. Les couches inférieures de ce calcaire sont friables, sablonneuses; mais, au lieu de chlorite granulée, elles renferment une multitude de petits grains noirs qui, séparés du calcaire par l'acide nitrique, font voir un sable quartzeux, transparent, coloré en noir par de l'oxide de fer.

A l'est de Maulle, sur le chemin des Alluets, on retrouve encore le calcaire sur la craie, mais en bancs très-minces, dont les assises inférieures contiennent beaucoup de sable et une grande quantité de coquilles analogues à celles de Grignon.

Le terrain de calcaire grossier se termine à l'ouest de notre carte, à Maulette, près d'Houdan, et il offre ici une disposition particulière et des rapports avec le terrain d'eau douce, qui méritent d'être décrits.

Après le village de la Queue, deux lieues avant d'arriver à Houdan, on traverse un cap très-avancé vers le nord-ouest du grand plateau sableux de la Beauce; lorsqu'on commence à descendre son second étage au lieu dit *le Bœuf couronné*, on voit épars dans les champs, en fragmens arrondis et en place sur le bord septentrional de la route, du calcaire blanc, compacte, très-dur, un peu sableux, renfermant des petits bulimes et présentant des empreintes de coquilles, qui paroissent être des potamides. On trouve ensuite sur un plateau inférieur très-peu élevé, qui est composé de deux sortes de terrains, le terrain d'eau douce en couche très-mince, et le terrain marin ayant également très-peu d'épaisseur; cette disposition est très-apparente lorsqu'on descend ce petit plateau immédiatement avant d'arriver à Maulette. Alors la coupure du bord septentrional de la route présente les bancs suivans, en allant de haut en bas :

1°. Une couche composée de fragmens de ce même calcaire blanc, dur, et de masses ou fragmens de silex pyromaque à empreintes de cérites ou de potamides. Ces

fragmens sont bouleversés et mêlés de terre végétale qui semble avoir pénétré dans leurs interstices ;

2°. Un banc régulier d'un sable calcaire, tantôt jaune, tantôt verdâtre, tantôt blanc, tantôt rougeâtre, renfermant une immense quantité de coquilles marines, dont les principales espèces sont :

Oliva laumontiana.
Marginella ovulata, rare.
Pleurotoma lineatum ?
Ancilla olivula.
— *auricula.*
Cerithium clavatulum.
— *umbrellatum.*
— *angulatum.*
— *calcitrapoïdes ?*
— *hexagonum.*
— *lapidum.*
— *plicatum ?*
— *interruptum ?*
— *Thiara.*
— *mutabile.*
Pyrula subcarinata.
— *lævigata.*
Melania lactea, en quantité considérable, et une ou deux autres espèces très-voisines.
— *hordeacea*, qui caractérise, comme nous l'avons dit, les grès marins voisins des terrains d'eau douce.
Ampullaria depressa.
Cythærea elegans.
— *semisulcata.*
Lucina circinnaria.
— *hosdinciaca.* MEN. (1).
Venus callosa.

---

(1) Cette énumération est le résultat de nos propres observations et de celles de M. Menard-la-Groye.

A mesure qu'on descend, ce banc se montre davantage; il renferme dans sa partie inférieure du calcaire marin très-solide en zone d'un décimètre d'épaisseur au plus. Le banc superficiel, nº 1, composé de fragmens de calcaire d'eau douce, diminue peu à peu, et disparoît presqu'entièrement.

Mais sur la partie déclive du terrain la terre végétale devient plus épaisse, et renferme une quantité innombrable de coquilles toutes bouleversées, notamment des cérites et presque toutes les coquilles du sable calcaire nº 2. On doit remarquer que ce mélange est si récent qu'on trouve avec les mêmes coquilles des coquilles terrestres, telles que des hélices et des cyclostomes élégantes qui ne sont point fossiles, mais seulement altérés par l'action du soleil et par celle des météores atmosphériques (1).

Si on veut prendre la peine de comparer cette description avec celle que nous avons donnée des points de contacts du terrain d'eau douce et du sable marin, on y verra absolument la même sorte de terrain, la même disposition de couche, et généralement les mêmes espèces de coquilles qu'à Nanteuil-le-Haudouin, qu'à Beauchamp près Pierrelaie, qu'à Ezanville près Ecouen, les mêmes cérites que dans les couches marines superficielles, et pareillement mêlées au sol cultivé, comme nous l'avons observé à Grignon, à Beyne, à Levignan, etc.

---

(1) M. Ménard de la Groye, qui a vu ce terrain avec beaucoup de soin, et qui se propose même d'en donner une description particulière, a trouvé dans cette couche de terre végétale mêlée de cérites et de coquilles terrestres non fossiles, des portions d'ossemens humains, notamment un frontal.

4ᵉ Formation. — *Calcaire siliceux.*

Le calcaire siliceux, dont nous avons fait connoître le gisement géologique dans notre première partie, forme au sud-est de Paris un plateau immense. Il n'est interrompu par aucun autre terrain. On ne trouve aucune île de ce terrain au milieu de ceux que nous venons de décrire ; et dans tout le pays, dont il forme la base, on ne connoît aucune partie de calcaire marin ; mais on ne peut en dire autant, ni de la formation gypseuse dont les marnes le recouvrent quelquefois, ni des autres formations supérieures à celle-ci. Nous en avons conclu que le calcaire siliceux remplaçoit au S. E. de Paris la formation de calcaire marin.

Nous soupçonnons cependant que cette sorte de terrain n'est pas absolument exclue des pays formés par le calcaire marin, et qu'elle s'y montre dans quelques parties en couches extrêmement minces, recouvrant les dernières assises de ce calcaire. Nous soupçonnons par exemple que les marnes calcaires dures, souvent grises, souvent infiltrées de silice et de quartz, comme à Passy, à Neuilly, à Meudon, à Sèvres, etc., ne renfermant jamais aucune coquille, ni marine, ni fluviatile, appartiennent à la même formation que le calcaire siliceux de Champigny, etc. Il y a entre ces couches minces de marnes dures et siliceuses, et les bancs puissans de calcaire siliceux, la plus grande analogie ; leur position respective dans la série des couches est la même, puisqu'on trouve toujours ces couches au-dessous du gypse,

et dans le passage du gypse au calcaire, comme à Triel, à Meudon, à Saint-Cloud, etc.

La carte que nous joignons à cette description fait connoître toute l'étendue du terrain de calcaire siliceux et ses limites exactes au N. O. On voit qu'en partant de Meaux, la vallée de la Marne forme la limite naturelle de ce terrain jusqu'au cap où est situé Amboise; qu'il n'y a qu'une seule île de calcaire siliceux sur la rive droite de cette rivière, celle qui porte Dampmart et Carnetin.

On remarque qu'il quitte la vallée de la Marne à Amboise, pour aller gagner presque en ligne droite celle de la Seine à Villeneuve-Saint-Georges; alors il la suit jusqu'à Draveil. En s'étendant sur la rive gauche de cette rivière, il prend pour limite, à l'ouest, la vallée d'Orge jusqu'à Saint-Yon, au-delà d'Arpajon. Les sables de la Beauce qui le recouvrent entièrement, empêchent de le suivre plus loin de ce côté; mais, en revenant vers le sud-est, on le conduit par-delà la forêt de Fontainebleau jusque près de Nemours. La formation de calcaire siliceux est terminée au sud par la craie qui reparoît ici, non pas que ce calcaire soit caché par la craie, puisque celle-ci lui est toujours inférieure; mais il n'existe plus. Du côté de la Beauce, au contraire, il n'est, comme nous venons de le dire, que recouvert par l'immense plateau de sable qui forme la base de ce terrain. En effet, quand on descend ce plateau du côté d'Orléans pour entrer dans la vallée de la Loire, le calcaire siliceux reparoît. La plupart des

maisons de la ville d'Orléans, ses quais, etc. en sont construits (1).

Vers l'est nous n'avons pu déterminer ses limites d'une manière aussi certaine; elles sont et trop éloignées et trop souvent cachées par les sables. Mais il paroît qu'elles finissent, comme du côté de Nemours, aux collines de craie qui commencent à Montmirail, etc.

Il seroit fatigant et inutile de décrire successivement tous les petits plateaux renfermés dans cette grande enceinte; ce seroit d'autant plus inutile, qu'il y a peu de terrains d'une structure plus uniforme que celui-ci. Nous nous contenterons d'indiquer quelques-uns des points les plus remarquables parmi ceux que nous avons examinés.

La colline de Dampmart, au nord de Lagny, est le seul terrain de calcaire siliceux que nous connoissions sur la rive droite de la Marne. Ce calcaire siliceux, sans coquille, est recouvert ici de calcaire siliceux d'eau douce, et vers l'extrémité nord-ouest, cette colline porte le terrain gypseux de Carnetin.

La colline de Champigny, sur le bord de la Marne, est un des points où le calcaire siliceux puisse être le plus facilement étudié, et un de ceux où il présente ses ca-

---

(1) Dans ces cantons il est très-difficile de le distinguer du calcaire d'eau douce, lorsqu'il est en fragments isolés; le calcaire d'eau douce des environs d'Orléans et de Nemours étant souvent en grandes masses compactes avec peu de coquilles, il n'y a que l'examen des bancs en place, et leur position respective, qui puisse permettre d'établir entre ces deux calcaires une distinction certaine.

ractères de la manière la plus évidente. Le terrain est formé, dans une grande épaisseur, de masses calcaires compactes réunies par des infiltrations de calcaire spathique, de quartz cristallisé, de calcédoine, de cacholong et de silex mameloné et coloré en rouge, en violet ou en brun. Quelques-uns de ces silex, comme l'a découvert M. Gillet-Laumont, offrent ces couches planes et parallèles de calcédoine et de sardoine que l'on recherche pour la gravure en camées; enfin on y voit tous les passages possibles du silex dur et translucide au silex blanc, opaque et friable comme de la craie. Le calcaire gris compacte et infiltré de silex, est exploité dans ce lieu pour faire de la chaux d'une très-bonne qualité. Cette exploitation ayant fait creuser et remuer dans un grand nombre de points le terrain de cette colline, nous a permis de rechercher si nous ne pourrions pas apercevoir quelques débris de coquilles fossiles, soit marines, soit fluviatiles : nous n'en avons vu aucun indice; mais le sommet de la montagne est composé de silex et de meulière renfermant des coquilles d'eau douce.

Le plateau de calcaire siliceux compris entre la rivière d'Orge et celle d'Essone, est recouvert en grande partie, et surtout du côté de la rivière d'Essone, d'une couche mince de marne verte. Cette disposition que nous avons remarquée plus particulièrement près d'Essone, est presque générale. Aussi voit-on toutes les sources de la Beauce sourdre de points assez élevés, parce que l'eau, après avoir traversé le terrain meuble ou le sable, est

arrêtée par ce lit de marne verte qui représente la formation gypseuse.

Tous les grès de la forêt de Fontainebleau sont portés sur le sol de calcaire siliceux. Ce sol n'est point apparent dans tous les points; mais on le voit partout où il est assez relevé pour paroître au-dessus du terrain meuble, et partout où les escarpemens sont assez profonds pour l'entamer, comme sur la route de Nemours, à la descente des grès, et sur toutes les pentes rapides qui mènent dans la vallée de Loing ou dans celle de la Seine. Les murs de Samois en sont construits, et on y remarque des plaques de silex blanc, sans aucune cavité et sans aucun mélange de calcaire, qui ont plus de 3 décimètres de long sur 8 à 9 centimètres d'épaisseur, et qui, étant polies et gravées, pourroient être employées dans les arts.

On retrouve le calcaire siliceux sur l'autre rive de la Seine, ainsi que la carte le fait voir. Il est très-apparent vis-à-vis l'embouchure du Loing, à Samoireau, etc.; à Melun et à Corbeil on en fait, comme à Champigny, de la très-bonne chaux.

Le terrain de calcaire siliceux se fait voir encore à Montereau; mais comme la craie est ici en saillie, elle semble avoir exhaussé ce terrain qui est très-peu épais et placé dans une situation fort élevée.

Le calcaire siliceux est beaucoup plus rare à l'ouest de Paris, et nous ne le connoissons que dans un seul point, dans la vallée qui court du nord au sud, et qui va de Mantes à Septeuil. C'est à Vers qu'on peut assigner le

commencement du terrain qui est composé de cette roche. Il paroît se terminer dans le plateau qui domine Septeuil, et c'est après Septeuil, en montant sur ce plateau, qu'on reconnoît très-distinctement la couche puissante de calcaire siliceux qui le constitue. Il est très-compacte et infiltré de silex calcédonieux; ses fissures sont quelquefois tapissées de cristaux de quartz. Enfin il ne diffère en rien de celui de Champigny, de Villemoison, etc. etc. On doit seulement remarquer que les assises supérieures présentent beaucoup plus d'infiltrations siliceuses que les inférieures.

Nos voyages, que nous avons tracés sur la carte, font voir tous les points où nous avons observé le calcaire siliceux de nos propres yeux. Nous y avons compris, il est vrai, ceux qui ont été visités par M. Frédéric Cuvier, qui a bien voulu faire sur ce terrain un grand nombre d'excursions, pour nous aider dans nos observations. Les terrains intermédiaires ont été colorés par induction et d'après les rapports des artisans qui emploient ce calcaire dans la construction des bâtimens ou à faire de la chaux.

5e et 6e Formations. — *Gypse, première formation d'eau douce, et Marnes marines.*

Le gypse ne forme point, comme le calcaire, de vastes plateaux à peine divisés par les vallons où coulent les rivières; il est disposé en masses souvent coniques et isolées, quelquefois allongées et assez étendues, mais

toujours très-bien limitées. Il seroit donc facile de décrire chaque colline, chaque montagne et chaque butte gypseuse séparément; mais cette longue et fastidieuse énumération seroit peu utile. L'inspection de la carte donnera à cet égard toutes les connoissances nécessaires; elle fera voir également les limites et la direction de la bande gypseuse; et, quoique nous ayons déjà indiqué cette disposition dans le premier chapitre, nous y reviendrons lorsque nous aurons fait connoître les montagnes gypseuses qui présentent les particularités les plus intéressantes (1).

§ Ier. *Rive droite de la Marne et de la Seine.*

La colline de gypse la plus éloignée que nous ayons visitée à l'est, est celle de Limon, près de Nanteuil-sur-Marne, à l'ouest de Laferté-sous-Jouarre.

Le gypse n'est jamais recouvert par la meulière, si abondante dans ce canton; cependant il est aisé de s'assurer que la formation de la meulière lui est postérieure, et qu'il est toujours immédiatement appliqué sur le calcaire.

De Nanteuil à Meaux on trouve les buttes de gypse

---

(1) Les Mémoires de Guettard, sur la minéralogie des environs de Paris, ont servi à nous indiquer les lieux où nous devions aller chercher le gypse; mais nous avons vérifié par nous-même, ou par de nouveaux renseignemens pris sur les lieux, tous les points qu'il avoit indiqués. Quant aux descriptions qu'il donne, elles sont trop inexactes et trop obscures pour être de quelque utilité.

suivantes : au nord-ouest de Laferté, celle de Morentru; plus au nord, celle de Torchamp; encore plus au nord, et au nord-est de Cocherel, celle de Chaton.

Les collines gypseuses du nord et du nord-ouest de Meaux sont : celle de Cregy, le plâtre s'y trouve principalement vers l'ouest, du côté de Challouet; celle de Panchard, à l'ouest de ce village; celle du sud-ouest de Barcy; celles de Pringy, de Monthion, du Plessis-l'Évêque; enfin la colline assez étendue de l'est à l'ouest qui est au nord de Cuisy.

Presque toutes ces collines fournissent des marnes argileuses propres à la fabrication de la brique, de la tuile et même de la poterie. Il y a des tuileries en activité à Challouet, à Panchard, entre Montge et Cuisy, etc. etc.

En continuant vers l'ouest, on trouve la colline élevée de Dammartin, dont le sommet est composé de meulière d'eau douce et d'une couche épaisse de sable blanc qui paroît assez pur. Ces meulières et le silex à coquilles d'eau douce se trouvent dispersées dans les champs des environs. Le gypse ne s'exploite pas dans la butte même de Dammartin, mais dans une butte inférieure qui en est séparée par une petite vallée, et qui est située au sud-est. Il y forme une masse d'environ 14 mètres d'épaisseur, qui est recouverte par 5 à 6 mètres de marnes blanches, grises et vertes. Ces dernières se montrent à la surface. Nous n'avons pu découvrir ni huître, ni aucune autre coquille dans la partie que nous avons examinée. On exploite de semblables carrières à Longperrier, et surtout à Montcrepin, au nord-ouest de Dammartin.

Dammartin. Dans ces dernières, la pierre à plâtre est presque à la surface du sol. Ces couches gypseuses renferment des ossemens fossiles; ce qui doit faire supposer qu'elles appartiennent à la première masse, c'est-à-dire aux bancs supérieurs du gypse.

En suivant toujours la direction du nord-ouest, on trouve encore deux collines gypseuses : celle du bois de Saint-Laurent et celle du bois de Montméliant, au bas de laquelle est située Morfontaine. Les marnes argileuses qui recouvrent ce gypse sont très-propres à la fabrication des tuiles et des poteries, et on connoît le parti avantageux qu'en ont tiré MM. Piranesy pour en faire des vases d'une grande dimension, d'une belle pâte et d'une assez bonne qualité.

En redescendant au sud, la carte de Cassini indique une plâtrière près du Mesnil-Amelot et au milieu de la plaine composée de terrain d'eau douce qui sépare la chaîne de collines que nous venons de suivre, de celle que nous allons examiner, en commençant par Carnetin.

La colline qui remplit l'anse que forme la Marne à l'est de Lagny, et qui est située au nord de cette ville, est entièrement composée de calcaire siliceux dans toute sa partie méridionale. Le gypse n'est connu que du côté de Carnetin, sur le versant septentrional. Il est placé sur une couche épaisse de marne calcaire blanche remplie de gros silex blancs et opaques qui ressemblent aux ménilites par leur forme et par leur situation. Ces plâtrières se prolongent jusqu'à Anet, et sont situées à

l'extrémité orientale de la longue colline gypseuse en forme d'arc de cercle, qui porte sur ses versans Saint-Marcel, Courtry, Couberon, Vaujours, Clichy, Montfermeil, Chelles, Gagny et Villemonble, et qui se termine à Rosny.

Le cap que forme la butte de Chelles est entièrement composé de gypse recouvert seulement d'un mètre de marne verte. Cette marne est surmontée d'une couche peu épaisse de sable et de meulière d'eau douce.

On peut reconnoître ici trois masses de gypse. La plus superficielle a 8 à 9 mètres d'épaisseur; elle est séparée de la seconde par sept mètres de marne blanche. La seconde masse a 3 à 4 mètres de puissance. On y remarque quelques assises minces, mais dures, qui fournissent des dalles employées dans les constructions. Les parties supérieures de cette seconde masse donnent un plâtre de mauvaise qualité.

La troisième masse est représentée par une petite couche séparée de la précédente, et qui n'a que 4 à 5 décimètres d'épaisseur.

Du côté de Montfermeil, les marnes vertes ont plus d'épaisseur. On y fait de la tuile.

La longue colline qui s'étend de Nogent-sur-Marne à Belleville, et que nous appellerons colline de Belleville, appartient entièrement à la formation gypseuse; elle est recouverte vers son milieu de sables rouges argilo-ferrugineux sans coquilles, surmontés de couches de sables agglutinés, ou même de grès renfermant un grand nombre d'empreintes de coquilles marines analogues à celles de Gri-

gnon. Cette disposition est surtout remarquable dans les environs de Belleville et au sud-est de Romainville. Le grès marin y forme une couche qui a plus de 4 mètres d'épaisseur.

Cette colline renferme un grand nombre de carrières qui présentent peu de différences dans la disposition et la nature de leurs bancs.

L'escarpement du cap qui s'avance entre Montreuil et Bagnolet n'est pris que dans les glaises, les bancs de plâtre de la première masse s'enfonçant sous le niveau de la partie adjacente de la plaine qui dans cet endroit est un peu relevée vers la colline, et qui s'abaisse vers le bois de Vincennes. Les marnes qui recouvrent la première masse ont une épaisseur de 17 mètres. La marne verte qui en fait partie a environ 4 mètres. On y compte quatre lits de sulfate de strontiane. On voit un cinquième lit de ce sel pierreux dans les marnes d'un blanc jaunâtre qui sont au-dessous des vertes; et peu après ce cinquième lit se rencontre la petite couche de cythérés. Elles sont ici plus rares qu'ailleurs, et mêlées de petites coquilles à spire qui paroissent appartenir au genre spirorbe. Les autres bancs de marne ne présentent d'ailleurs rien de remarquable. La première masse a neuf à dix mètres d'épaisseur.

En suivant la pente méridionale de la colline dont nous nous occupons, on trouve les carrières de Mesnil-Montant, célèbres par les cristaux de sélénite que renferment les marnes vertes, et par les silex ménilites des marnes argileuses feuilletées. Ces silex se trouvent à en-

viron 4 décimètres au-dessus de la seconde masse, par conséquent entre la première et la seconde (1).

Enfin, à l'extrémité occidentale de cette colline sont les carrières de la butte de Chaumont.

Toutes les collines qui sont dans le même alignement que celles de Montmartre, ayant à peu de chose près la même structure que cette butte, la description détaillée que nous allons donner de Montmartre suffira pour faire connoître la suite des couches principales; mais comme c'est dans la colline de Belleville que les marnes d'eau douce renferment le plus de coquilles, nous nous arrêterons un instant sur leur description.

La butte Chaumont, qui est le cap occidental de la colline de Belleville, n'est point assez élevée pour offrir les bancs d'huîtres, de sable argileux et de grès marin qu'on observe à Montmartre. Nous avons dit qu'on trouvoit le grès marin près de Romainville : nous ne connoissons les huîtres que dans la partie de la colline qui est la plus voisine de Pantin, presque en face de l'ancienne seigneurie de ce village; on les trouve à 6 ou 7 mètres au-dessous des sables, et un peu au-dessus des marnes vertes; c'est leur position ordinaire.

Lorsque les couches de sable marin et d'huîtres n'existent pas, on voit d'abord une couche de silex d'eau douce; on trouve ensuite en descendant :

1°. Deux assises alternatives de marne calcaire assez dure et pesante.

---

(1) C'est par erreur que nous avons dit, dans notre premier Mémoire, que c'étoit dans les marnes argileuses feuilletées de la troisième masse.

2°. Une marne argileuse sans coquilles apparentes, renfermant des noyaux durs de marne calcaire.

3°. Le banc de marne argileuse verte, qui a ici environ 5 mètres de puissance; au-dessous se trouvent les couches suivantes.

4°. Un premier banc de marnes jaunes feuilletées, qui renferme vers son tiers inférieur des os de poissons, des cythérées planes, n° 1; seulement des spirorbes et quelques *cerithium plicatum*.

5°. Un lit très-mince de marne argileuse mêlée de vert et de jaune, renfermant un grand nombre de coquilles écrasées dont les débris sont blancs. Quoique ces coquilles soient comme broyées, on peut encore y reconnoître des cythérées, des spirorbes, et surtout des *cerithium plicatum*.

6°. Un lit d'un à deux décimètres de marne calcaire blanchâtre, friable, sans coquilles.

7°. Un second banc de marnes jaunes feuilletées, renfermant dans sa partie inférieure un lit de cythérées bombées, n° 2; point de planes, mêlé de spirorbes, d'os de poissons et de petits corps blancs ovoïdes de la grosseur d'un grain de moutarde et d'une nature indéterminée.

Des petits lits de sélénite se rencontrent au milieu de ces couches. La dernière renferme entre ses feuillets les plus inférieurs des rognons de strontiane sulfatée.

Toutes ces couches, depuis les marnes vertes, c'est-à-dire du n° 4 au n° 7 inclusivement, ont deux mètres d'épaisseur.

8°. On trouve alors les marnes d'eau douce; elles sont blanches, avec des taches et des lits très-minces d'oxide de fer, rouge, pulvérulent. Elles renferment d'abord des débris de coquilles d'eau douce, puis des lymnées et des planorbes bien entiers. C'est surtout dans la carrière qui regarde le nord, et qui est après Pantin, que ces coquilles sont et les plus nombreuses et les mieux conservées, et c'est dans les couches les plus inférieures de la marne qu'elles sont les plus abondantes.

Ce système de banc de marnes blanches d'eau douce a de 20 à 25 décimètres d'épaisseur dans les deux car-

rières où nous l'avons visité; savoir, celle de Pantin et celle de la butte Chaumont derrière le *combat du taureau*.

Entre cette colline et celle de Montmartre est la plaine de Pantin, dont le fond est de gypse. Les bancs de gypse y présentent beaucoup de désordre et d'ondulations. On les attribue aux sources et cours d'eaux assez nombreux qui les ont excavés en dessous.

Immédiatement après la colline de Belleville on trouve, en allant toujours à l'ouest, la butte de Montmartre. La description générale, mais succincte, que nous en avons donnée dans le premier chapitre, comme exemple de la formation gypseuse, ne nous empêchera pas de donner ici une description détaillée d'autant plus nécessaire que cette colline, quoique visitée depuis long-temps par tant de minéralogistes, offre encore tous les jours de nouveaux sujets d'observations.

Montmartre.

Cette butte est isolée et à peu près conique, mais plus étendue de l'est à l'ouest que du nord au sud. Le terrain qui la sépare de la butte Chaumont, forme une espèce de col élevé.

Nous allons décrire successivement et avec détail les couches de sable marin, de marnes marines, de marnes et de gypse d'eau douce, et de marnes et de gypse marins qui constituent cette butte.

N° 1. *Sable et grès quartzeux.*

Le sable, qu'on trouve au sommet de Montmartre, est quelquefois agglutiné, et forme des grès rougeâtres, mais friables, qui ren-

ferment des moules de coquilles. La matière de la coquille n'existe plus, et on ne voit même dans le sable aucun débris de ces coquilles. Ce grès est composé de grains de quartz assez gros, peu arrondis, mais point cristallisés; il ne fait aucune effervescence, et est infusible au feu de porcelaine. Les coquilles qu'il renferme sont toutes marines, et généralement semblables à celles de Grignon; nous y avons déterminé les espèces suivantes :

Cerithium mutabile.
— *cinctum.*
Solarium, pl. 8, fig. 7. Lm.
Calyptræa trochiformis.
Melania costellata.
Pectunculus pulvinatus.
Cytheræa nitidula.
— *lævigata.*
— *elegans ?*
Crassatella compressa?
Donax retusa ?
Corbula rugosa.
Ostrea flabellula.
Des empreintes qui paroissent dues à des fragmens d'oursins, etc.

N° 2. *Sable argileux jaunâtre.*

Il est d'un jaune sale, il ne fait point effervescence, et n'est donc point calcaire, quoiqu'il recouvre immédiatement la marne suivante (1); mais il éprouve un commencement de vitrification au feu de porcelaine.

mètre.
3. *Marne calcaire blanchâtre.* . . . . 0·10

Elle est très-friable, très-calcaire; elle est presque entièrement composée de petites huîtres (*ostrea linguatula* Lm.) brunes, et de débris de ces coquilles.

4 *Marne argileuse jaunâtre* . . . . 0·40

---

(1) Ces deux bancs de sable, mesurés de la porte du cimetière jusqu'au banc d'huître, ont 28 à 30 mètres d'épaisseur.

Elle est jaune-pâle, sale et par fragment. Elle renferme moins de coquilles que la précédente et que la suivante. Ce sont des débris d'huîtres.

5. *Marne calcaire fragmentaire* . . . . 0·20

Elle se brise facilement en petits morceaux assez solides. Elle est très-coquillière, et renferme absolument les mêmes espèces que le n° 3.

6 *Marne argileuse grise* . . . . 0·85

Elle est grise, marbrée de jaune, fragmentaire. Elle ne renferme à sa partie supérieure que quelques huîtres. (*Ostrea linguatula*). Elle est plus argileuse dans son milieu, et contient alors beaucoup plus d'huîtres. Elle devient brune et très-argileuse à sa partie inférieure; elle fait à peine effervescence, et ne renferme plus de coquilles.

N° 7. *Marne argileuse blanchâtre et marbrée de jaunâtre* . . . 0·65

Elle est fragmentaire à sa partie supérieure. Elle ne contient pas de coquilles, elle devient fissile et plus grise vers sa partie inférieure.

8. *Marne calcaire blanchâtre* . . . . 0·15

Elle est friable dans quelques parties, et dure dans d'autres, au point d'acquérir la solidité et la cassure serrée de la chaux carbonatée compacte. Elle renferme des coquilles d'huîtres d'une espèce différente des précédentes; (*Ostrea canalis* Lm.); quelques-unes ont jusqu'à 1 décim. dans leur plus grande dimension. On trouve dans le même lit des débris de crabes et des débris de balanes.

Les couches de 2 à 8 inclusivement paroissent appartenir à un même système qui seroit caractérisé par la présence habituelle des huîtres et par l'absence des univalves.

9. *Marne argileuse brune, jaune, verdâtre, fragmentaire.* 0·15

Elle ne renferme point de coquilles, et est pénétrée de sélénite; elle fait un peu effervescence.

10.

10. *Marne argileuse sablonneuse* 0.20

Elle est assez dure et d'un gris jaunâtre; elle fait une vive effervescence avec l'acide nitrique; elle contient des moules de coquilles bivalves, indéterminables.

11. *Marne argileuse jaune* 0.50

Ce banc est pétri de débris de coquilles; et, quoique ces coquilles soient presque toutes écrasées, nous avons pu y reconnoître les genres et les espèces suivantes :

Nerita espèce lisse mais indéterminable.
Ampullaria patula? très-petite.
Trochus.
Cerithium plicatum.
Cythærea elegans.
— voisine du *semisulcata;* mais plus épaisse et d'une autre forme.
Cardium obliquum?
Erycina.
Nucula margaritacea.
Pecten.

Cette marne est plus fragmentaire que fissile; les coquilles y sont toutes disposées sur le plat.

On y trouve aussi des fragmens de palais d'une raie analogue à la *raie aigle*, et nous avons recueilli un fragment d'aiguillon d'une raie voisine de la *pastenague.*

N° 12. *Marne argileuse très-feuilletée, à feuillets ondulés.*

D'un violet noirâtre lorsqu'elle est humide. Elle se gonfle et se ramollit dans l'eau, et fait effervescence dans l'acide nitrique.

Cette espèce de vase argileuse endurcie est percée de trous entièrement remplis de la marne supérieure, comme s'ils avoient été faits par des pholades, et remplis postérieurement.

13. *Marne calcaire grise* 0.30

Dure dans quelques endroits, mais généralement friable. Elle ne renferme pas de coquilles.

14. *Marne argileuse fissile* . . . . 0·70

En feuillets alternatifs et nombreux, plus ou moins colorés de blanc, de jaune et de vert. Elle est assez solide, et fait à peine effervescence.

15. *Marne calcaire blanche* . . . . 0·10

Semblable à celle du n° 13, mais plus solide et plus blanche.

N° 16. *Marne argileuse* . . . . 0·50

Fissile comme le n° 14. Elle est moins délayable dans l'eau, et fait à peine effervescence.

17. *Marne calcaire verdâtre* . . . . 0·05

Elle est assez argileuse, ce que prouvent les nombreuses fissures qui s'y forment par le dessèchement; elle est d'ailleurs peu solide.

18. *Marne argileuse verte* . . . . 4·00

Cette couche épaisse est d'un vert jaunâtre; elle n'est point fissile mais friable; elle ne contient, suivant M. de Gazeran, que 0·07 de chaux. Elle fait cependant une assez vive effervescence avec l'acide nitrique, et se réduit par la fusion en un verre noirâtre homogène. On n'y voit aucun débris de corps organisés. Cette marne renferme des géodes globuleuses, mais irrégulières, qui se dissolvent entièrement dans l'acide nitrique. Ces géodes verdâtres ont leurs fissures et leur intérieur tapissés de cristaux de chaux carbonatée. On trouve vers leur centre un noyau mobile de même nature que l'enveloppe.

La marne verte est, comme nous l'avons dit plusieurs fois, le banc le plus apparent, le plus constant, et par conséquent le plus caractéristique de la formation gypseuse.

19. *Marne argileuse jaune* . . . . 0·35

Elle est très-feuilletée, et renferme entre ses feuillets un peu de sable fin jaunâtre, et des petits cristaux de sélenite. On ne voit point de coquilles dans ses feuillets supérieurs.

19 *bis*. Même marne moins feuilletée, renfermant des coquilles. C'est dans cette marne que se trouve ce lit mince de cythérées qui règne avec tant de constance dans une très-grande étendue de terrain. Nous n'avons vu à Montmartre que quelques *cerithium plicatum* et des cythérées bombées, nº 2; les cythérées planes, nº 1, paroissent manquer dans les carrières que nous avons examinées. Nous ne connoissons de spirorbes que dans les carrières de l'est.

Nº 19 *ter*. La même marne, mais beaucoup moins fissile, et d'un vert sale jaunâtre; elle contient immédiatement au-dessous des coquilles précédentes, des rognons de strontiane sulfatée terreuse compacte qui fait un peu effervescence avec l'acide nitrique.

20. *Gypse marneux en lits ondulés*. 0.30

Les zones gypseuses alternent avec des zones de marne calcaire friable.

21. *Marne blanche compacte*. 0.58

Elle est d'un blanc grisâtre marbré et tacheté de jaunâtre. Elle est assez compacte, et fait une violente effervescence avec l'acide nitrique.

22. *Marne calcaire fragmentaire* 0.72

Elle est blanchâtre, ses fragmens sont assez gros et solides, quoique tendres.

23. *Marne calcaire pesante* 0.08

Elle est d'un blanc sale assez dur, quoique fragmentaire.

Les marnes nºs 21, 22 et 23 répondent aux marnes blanches nº 8 de la butte Chaumont et de Pantin. On n'y voit pas, il y est vrai, comme dans ces dernières, les limnées abondans qui les caractérisent; mais elles sont de même nature, dans la même situation, et nous avons cru appercevoir quelques débris de coquilles dans celles des carrières de l'est de Montmartre.

24. *Marne argileuse friable verdâtre* 0.35

Elle ressemble en tout aux marnes argileuses feuilletées n° 19; mais on n'y connoît point de coquilles, on y voit seulement quelques débris informes de poissons.

N° 25. *Marne calcaire sablonneuse* 0.08

Elle est blanchâtre, friable; ses salbandes sont ocracées.

26. *Marne calcaire à fissures jaunes* 1.13

Elle est très-fragmentaire, ses fragmens sont parallélipipédiques. Leurs surfaces sont recouvertes d'un vernis jaune d'ocre, surtout vers la partie inférieure qui se confond avec le n° suivant.

27. *Marne argileuse verdâtre* 0.80

Elle est assez solide et même fragmentaire dans ses parties supérieures; ses fissures sont teintes d'un enduit d'ocre. Vers son milieu, et surtout vers son lit, elle est feuilletée et rubanée de vert et de blanchâtre.

Les feuillets sont traversés par des espèces de tubes ondulés, remplies de marne ocreuse.

Cette marne fait très-peu effervescence.

28. *Marne calcaire tendre blanche* 0.48

Elle est très-fragmentaire, et forme trois zones blanches qui sont séparées par des petites couches de marne argileuse brun verdâtre. Il y a au milieu de cette couche un petit lit de gypse très-distinct.

29. *Argile figuline brun-verdâtre* 0.27

Cette argile ne fait aucune effervescence.

30. *Marne calcaire blanchâtre* 0.77

Elle est d'un blanc verdâtre, et un peu plus brune vers le bas. Elle se divise en fragmens assez gros.

31. *Marne argileuse compacte* 0.62

En lits alternatifs gris, jaunâtre et blanc.

32. *Marne argileuse brun-verdâtre* 0.62

Elle ne fait que très-légèrement effervescence; elle est fissile, et même friable, et renferme beaucoup de sélénite.

N° 33. *Marne calcaire blanche* 1.33

Elle se divise en fragmens, dont les fissures sont teintes de jaune d'ocre.

34. *Marne calcaire jaunâtre* 0.70

Elle est feuilletée et fragmentaire. Les fissures sont couvertes de dendrites, et renferment des cristaux de sélénite.

PREMIÈRE MASSE.

35. *Gypse marneux* (premier banc.) 0.40

Il est friable, un peu jaunâtre dans ses fissures. Il fait une très-vive effervescence.

Il varie beaucoup d'épaisseur, et est quelquefois réduit à un très-petit filet.

Ces bancs de gypse impur sont appelés *chiens* par les ouvriers.

36. *Marne calcaire jaunâtre rubanée* 0.86

Elle est fissile, assez tendre, et renferme quelques cristaux de sélénite.

37. *Marne calcaire blanchâtre fissile* 0.40

Elle est blanche, fissile et friable avec des infiltrations ocracées.

Elle renferme entre ses feuillets des petits lits de gypse marneux.

38. *Gypse marneux* (second banc.) 0.16

C'est le même que celui du n° 35. Il est tantôt réuni avec cette couche de gypse, tantôt il en est séparé par les couches de marne calcaire, n°s 36 et 37.

39. *Marne calcaire blanchâtre fragmentaire* 0.25

Elle est d'un blanc jaunâtre. Ses nombreuses fissures sont couvertes d'un vernis jaune et de dendrites noires.

C'est dans cette marne qu'on a trouvé un palmier fossile pétrifié en silex.

N° 40. *Gypse marneux* (troisième banc.) 0.40

La partie supérieure est moins impure que la partie inférieure, qui est très-marneuse.

41. *Marne argileuse friable jaunâtre* 0.33

Elle est un peu feuilletée; les surfaces des fissures sont jaunes d'ocre. Elle renferme des infiltrations de sélénite.

42. *Gyspe marneux* (quatrième banc.) 0.16

Il est plus pur que les deux couches précédentes, et fait par conséquent moins d'effervescence dans l'acide nitrique.

43. *Marne calcaire blanche* 1.10

Elle est un peu jaunâtre, et se divise en gros fragmens assez solides. Ses fissures sont couvertes de dendrites noirâtres.

44. *Gypse marneux* (cinquième banc.) 0.33

Il est blanc, friable, assez effervescent.

45. *Marne calcaire tendre* 0.80

Elle est blanchâtre, avec des zones horizontales jaunâtres et des petits filets de sélénite.

46. *Gypse saccaroïde.*

C'est la première masse exploitée. Les ouvriers l'appellent aussi *haute masse*; elle a en tout de . . . . 15 à 20 m.

Elle est distinguée par les ouvriers en plusieurs bancs auxquels ils donnent des noms particuliers, mais qui varient un peu suivant les diverses carrières.

Nous ne ferons mention que des bancs les plus remarquables.

a. *Les fleurs.*

Il renferme des lits très-minces de marne calcaire.

b. *Les moutons.*

c. *La petite corvée.*

Nous y avons vu une petite couche de silex de 3 à 4 millim.

d. *La bossue.*
e. *Les écuelles.*
f. *Les brioches.*
g. *La grande corvée.*
h. *Le gros jaune.*
i. *Le bien venant.*
k. *Le pilotin*, ou *bancs gris.*
l. *Le blanc lit argenté*, *banc sableux.*
m. *Le bataillon*, *banc de trois pieds.*
n. *Les roussels.*
o. *Les heurs*, *le gros banc.*
p. *Les hauts piliers.*

Ces deux dernières assises se divisent en prismes verticaux. De là le nom de *hauts piliers* qu'on a donné à la seconde assise en raison de la hauteur des prismes.

q. r. *Les hautes urines et foies de cochon.* = *Banc de trois pieds.*
s. t. *Les pots à beurre et les crottes d'âne.*
u. *Les piliers noirs.*

Il est très-compacte.

v. *Les basses urines.*
. *Les fusils.*

Cette dernière assise de la première masse est remarquable par les silex cornés qu'elle contient. Ces silex sont des sphéroïdes ou des ellipsoïdes très-aplatis ; ils semblent pénétrés de gypse, et se fondent dans le gypse d'une manière insensible. L'intérieur de ces sphéroïdes est souvent rempli de gypse. Ce gypse, assez homogène, fait effervescence.

y. *Gypse laminaire jaune d'ocre.*

A grandes lames mêlées de marne argileuse sablonneuse. 0·03

z. *Gypse jaunâtre friable.*

Renfermant des petits lits de marne blanche . . . . 0·03

Ici se termine ce que les ouvriers appellent *première* ou

haute-masse. Elle a environ, depuis les huîtres jusqu'aux cythérées 9

Depuis ces cythérées jusqu'au sommet de la forte masse de gypse 13

Depuis ce sommet jusqu'au-dessous des fusils 20

TOTAL 42 (1)

C'est dans cette masse, et probablement dans les premières assises nommées *les fleurs*, qu'on a trouvé, quoique très-rarement, des coquilles fossiles. Celle que nous possédons est noire, et appartient évidemment à l'espèce que M. de Lamark a nommé *cyclostoma mumia*.

SECONDE MASSE.

La seconde masse commence aussi par le gypse.

N° 1. *Gypse friable* (*pelage*) 0.24

Effervescent.

2. *Marne calcaire feuilletée* 0.08

Elle est friable.

3. *Gypse compacte* (*tête de moine*) 0.16

Peu effervescent, quoique impur, c'est-à-dire souillé d'argile.

4. *Marne calcaire friable* 0.11

5. *Gypse saccaroïde* (*œuf*) 0.30

Il est assez pur, à peine effervescent. Cette couche est exploitée.

6. *Marne calcaire compacte* 1.38

Elle est fragmentaire, et tachée de fauve et de noir sur les parois de ses fissures naturelles.

La partie supérieure est la plus friable. La partie inférieure beaucoup plus solide, est quelquefois séparée de la supérieure par un petit lit de marne feuilletée.

(1) En ajoutant à cette somme 29 mètres pour l'épaisseur de la masse de sable, on a en tout 71 mètres.

N° 7. *Marne calcaire assez compacte* (*faux ciel*) 0.11

Elle renferme vers sa partie inférieure de gros cristaux de sélénite en fer de lance.

8. *Marne argileuse verdâtre* (*souchet.*) . . . . 0.21 0. à 30

Lorsqu'elle est humide elle est grisâtre, marbrée de brun; lorsqu'elle est sèche, elle est compacte dans sa partie supérieure, très-feuilletée dans sa partie inférieure.

Cette marne est vendue dans Paris sous le nom de *pierre à détacher;* elle ne fait effervescence que lentement. C'est dans cette couche que se trouvent les gros rognons de strontiane sulfatée de la seconde masse.

Ces rognons volumineux, quoique compactes, le sont moins que ceux de la première masse. On n'y voit point ces fissures tapissées de cristaux qu'on remarque dans la strontiane sulfatée de la première masse; mais on y observe un grand nombre de canaux à peu près verticaux et parallèles, quoique tortueux et à parois raboteuses. Ces canaux sont tantôt remplis de marnes et tantôt vides. Ils semblent indiquer par leur forme le passage d'un gaz qui se seroit dégagé au-dessous des masses de strontiane, et qui les auroient traversées.

Les parties de ces rognons, qui sont dégagées de marne, ne font point effervescence.

9. *Gypse impur* (*les chiens.*) 0.57

Il est mêlé de marne; très-effervescent.

10. *Marne calcaire compacte* 0.52

Arborisée de noir.

11. *Marne argileuse feuilletée* (*les foies.*) 0.25

Elle est grise, et se divise en feuillets extrêmement minces. Elle fait effervescence, mais peu vivement.

12. *Marne calcaire* (*les cailloux.*) 0.50

Très-compacte, arborisée de noir.

N° 13. A. *Marne argileuse grise.*

Très-feuilletée, à peine effervescente.

13. B. *Gypse impur ferrugineux* 0.04

Le plan supérieur de ces couches est marqué d'ondulations semblables à celles d'une eau tranquille et toutes dirigées du S. E. au N. O.

14. *Gypse compacte* (*les fleurs.*) 0.46

Il est effervescent dans certaines parties, pur dans d'autres. Sa partie inférieure renferme des grains arrondis de sable calcaire.

15. *Sélénite laminaire* (*les laines.*) 0.27

Cette couche disparoît presque dans de certains endroits.

16. *Gypse compacte* (*les moutons.*) 0.60

Il est très-beau, et donne de très-bon plâtre. Il fait effervescence.

17. *Sélénite laminaire* (*les couennes.*) 0.18

18. *Marne calcaire blanche* (*les coffres.*) 0.08

Elle est tendre.

19. *Gypse et sélénite cristallisée confusément* (*gros bousin.*) 0.50

Ils sont mêlés.

20. *Gypse très-compacte* (*tendrons du gros bousin.*) . . 0.08

A zones ondulées, mais parallèles. Il ne fait point effervescence. C'est dans cette couche compacte que se percent les trous de mine.

21. *Gypse très-compacte* (*clicart.*) 0.06

Il est en couches minces ondulées, dont les ondulations forment non des lignes, comme dans le n° 13, mais des réseaux. Il ne fait point effervescence.

22. *Gypse saccaroïde feuilleté* (*petits tendrons.*). . . 0.11

Il y a de la marne jaunâtre entre les feuillets.

N° 23. *Gypse saccaroïde compacte (pilotin.)*. 0.25

Effervescent. On nous a assuré avoir trouvé dans cette couche un oiseau fossile.

24. *Sélénite cristallisée (petit bousin.)*. 0.20

Elle est cristallisée confusément. Le lit de la couche est composé de zones compactes ondulées semblables au clicart, et pesantes comme lui.

25. *Gypse saccoroïde (gros tendron*, ou *tête de gros banc.)*. 0.27

Il est un peu effervescent.

26. *Gypse saccaroïde compacte (gros blanc.)*. 0.08

Il est à peine effervescent.

27. *Sélénite cristallisée confusément (grignard du gros banc.)* 0.07

28. *Gypse saccaroïde compacte (les nœuds.)* 0.16

29. *Gypse impur rougeâtre (les ardoises.)* 0.08

Feuilleté, mêlé de feuillets de marne argileuse.

30. *Gypse saccaroïde compacte (les rousses.)*. 0.20

Cette seconde masse ne paroît renfermer, comme on le voit, aucune coquille. Elle a en totalité, depuis les fusils jusqu'au-dessous des rousses, environ 10 mètres.

TROISIÈME MASSE.

Nous suivrons toujours, dans la détermination un peu arbitraire de ces masses, la division établie par M. Desmarets, qui est elle-même fondée sur celle des ouvriers.

N° 1. *Marne calcaire (le souchet.)* 0.32

Blanchâtre, tachetée de jaune à cassure conchoïde, souvent arborisé de noir.

2. *Marne argileuse verte feuilletée (les foies)* 0.9

3. *Marne calcaire blanche (marne dure.)* 0.03

Elle est cependant assez tendre, mêlée d'un peu de gypse.

N° 4. *Gypse compacte* (*les couennes et les fleurs.*) . . . 0.32

Sa partie supérieure renferme une zone de gypse laminaire.

5. *Gypse compacte* 0.34

Il est mêlé de marne.

6. *Sélénite laminaire* (*les pieds d'alouette.*) 0.46

Elle est mêlée de gypse.

7. *Marne argileuse feuilletée* 0.03

Verdâtre, mêlée de gypse.

8. *Gypse compacte* (*pains* de 14 sols.) . . . . . .

En gros rognons dans la marne suivante.

9. *Marne calcaire blanche*, n° 9 . . . . 0.70

10. *Marne argileuse feuilletée verdâtre* 0.02

11. *Marne calcaire blanche* 0.66

Sa cassure est conchoïde. Cette marne se confond avec le n° 12.

12. *Gypse compacte* . . . .

Il est mêlé de marne.

13, 14 et 15. *Gypse compacte* 1.40

Il est divisé par 7 à 9 zones ondulées de sélénite laminaire que les ouvriers nomment *moutons*, *tendrons* et *gros bancs*.

16. *Marne calcaire blanche* (*marnes prismatisées.*) . . 0.49

A retraits prismatiques renfermant quelques débris de coquilles.

17. *Gypse compacte* (*petit banc.*) 0.19

Il est comme carié.

18. *Marne calcaire jaunâtre* 1.00

Elle est assez tendre.

La partie supérieure de ce banc remarquable renferme un grand nombre de coquilles marines, ou plutôt de moules de ces coquilles; car la coquille proprement dite a disparu,

on ne voit que le relief de la surface extérieure, tout le milieu est marne. Ces coquilles, analogues à celles de Grignon, ont été rassemblées et déterminées de la manière suivante par MM. Desmarets fils et Prévost.

Calyptrea trochiformis.
Murex pyraster.
4 cérites.
Turritella imbricataria.
— *terebra.*
Voluta citharea.
— *muricina.*
Ampullaria sigaretina.
Cardium porulosum.
Crassatella lamellosa.
Citherea semisulcata.
Solen vagina.
Corbula gallica.
— *striata.*
— *anatina?*

Les mêmes naturalistes y ont trouvé en outre des oursins du genre des spatangues, différens du *spatangus cor anguinum* qu'on trouve dans la craie, et des petits oursins qu'on trouve à Grignon, et qui appartiennent au genre *clypeastre*. Ils ont retiré de cette marne des pates et des carapaces de crabes, des dents de squales (glossopètres), des arêtes de poissons et des parties assez considérables d'un polypier rameux qui a quelque analogie avec les isis et les encrines (fig. 9), et que M. Desmarets a décrit sous le nom d'*amphitoïte parisienne*.

Le lit supérieur renferme d'autres corps dont la connoissance est également due à MM. Desmarets fils et Prévost. Ce sont des pyramides quadrangulaires formées de la même marne et dont les faces sont striées parallèlement aux arêtes des bases. Ces pyramides ont jusqu'à 3 centimètres de hauteur sur une base carrée de 6 centimètres de côté. On ne doit pas considérer ces solides comme des moitiés d'octaèdre; car leur base est tellement engagée dans la marne qu'on ne peut

par aucun moyen découvrir les faces opposées qui compléteroient l'octaèdre ; mais on observe dans leur réunion entre elles une disposition très-remarquable. Ces pyramides sont toujours réunies six ensemble, de manière qu'elles se touchent par leurs faces, et que tous les sommets se réunissent en un même point. Il résulte de cette réunion un cube dont les faces ne peuvent cependant pas être mises naturellement à découvert, puisque les bases des pyramides se continuent sans interruption dans la marne, qui leur sert de gangue, et qui est absolument de même nature qu'elles.

Le milieu de la couche de marne que nous décrivons renferme des cristaux de sélénite et des rognons de gypse niviforme. Enfin la partie inférieure ne contient aucune coquille.

N° 19. *Gypse compacte* 0.22

20. *Marne argileuse feuilletée* 0.05

21. *Gypse compacte* (*banc rouge*) 0.30

22. *Marne calcaire blanche*, *friable* 0.16

23 et 24. *Marne argileuse feuilletée* (*les foies*).

Elle renferme dans son milieu un banc de gypse d'une épaisseur très-irrégulière 0.22

Cette marne, qui est feuilletée, laisse voir entre ses feuillets des empreintes brunes et brun-rouge de corps rameux applatis qui semblent être des empreintes de fucus.

25. *Calcaire grossier dur* (*cailloux blancs*).

Il renferme des coquilles marines 0.16

26. *Gypse impur compacte*.

Renfermant des coquilles marines 0.12

27. *Calcaire grossier tendre* (*souchet*).

Renfermant des coquilles marines 0.22

Ces trois assises contiennent les mêmes espèces de coquilles ; ce sont des cérites qu'on peut rapporter au *petricolum* et au *terebrale*. Les moules de ces coquilles sont ici différens de ceux de la marne du n° 18. On y voit en creux le moule de l'extérieur de la coquille, et en relief

celui de l'intérieur ou du noyau; la place de la substance même de la coquille est vide.

N° 28. *Marne argileuse feuilletée* . . . . 0·08

29. *Gypse impur.*

Il est mêlé de calcaire . . . . 0·06

30. *Gypse compacte (pierre blanche).*

Il se divise par petits lits horizontaux . . . . 0·69

31. *Marne calcaire blanche.*

Nous ne connoissons pas l'épaisseur de ce lit, ni le terrain sur lequel il repose.

Cette troisième masse, mesurée en totalité à la carrière de la Hutte-au-Garde, et prise du banc de gypse le plus haut, c'est-à-dire 1 mètre au-dessus du souchet, a dans sa partie la plus haute de 10 à 11 mètres.

On voit par les détails que nous venons de donner que cette troisième masse offre plusieurs faits remarquables; la présence bien constatée des coquilles marines au milieu des marnes du gypse et du gypse même, n'est pas le moins intéressant. Ce fait avoit été annoncé par M. Desmarets, de l'Institut; il avoit été observé de nouveau par M. Coupé (1), avec des circonstances de plus; enfin, il vient d'être constaté par MM. Desmarets fils et Prevost, qui ont donné la description détaillée des couches qui renferment les coquilles, et la détermination précise de leurs diverses espèces. On ne peut donc douter que les premières couches de gypse n'aient

---

(1) « A Montmartre, au fond de la troisième masse, est une couche de craie » argileuse cassante, fendillée, épaisse de 8 à 9 pieds; dans les fragmens de » sa région supérieure sont des empreintes de divers coquillages minces et des » espèces de crustacés roux, les mêmes espèces qu'à Grignon ». (Coupé, *Journ. de phys.* brum. an 14, p. 387.)

été déposées dans un liquide analogue à la mer, puisqu'il nourrissoit les mêmes espèces d'animaux. Cela n'infirme pas l'autre conséquence que nous avons tirée sur la formation des couches supérieures; elles ont été déposées par un liquide analogue à l'eau douce, puisqu'il nourrissoit les mêmes animaux.

Nous devons faire remarquer, 1°. que le premier banc de cette troisième masse, pris à la carrière de la Hutte-au-Garde, est plus élevé que le dernier banc de la deuxième masse, au-dessous de laquelle on a toujours cru que la troisième étoit placée; 2°. que cette troisième masse forme une sorte de petite colline à l'ouest de Montmartre, et que nous ne sachions pas qu'on l'ait jamais vue immédiatement au-dessous de la deuxième; 3°. que ses bancs ne sont point horizontaux, mais très-évidemment inclinés au sud-ouest, c'est-à-dire vers la plaine (1).

On a creusé dernièrement plusieurs puits et fait quelques tranchées au pied de Montmartre, et, au sud de cette butte, dans Paris même; ce qui nous a donné les moyens de rencontrer dans d'autres points qu'à la carrière de la Hutte-au-Garde la nature et la succession des bancs qui forment sa base. Nous les avons observés au haut de la rue de la Rochechouart, au haut de la rue des Martyrs, près l'hôpital Saint-Louis, etc. Les puits

(1) Il ne faut point additionner l'épaisseur des trois masses pour avoir la puissance totale de la formation gypseuse : on auroit une épaisseur trop considérable; d'ailleurs nous venons de dire que la troisième masse n'est pas, comme on l'a cru, au-dessous des deux autres.

creusés

creusés au haut de la rue de la Rochechouart nous ont donné des détails et des renseignemens précieux (1).

Détail des couches qu'on a traversées en creusant le puits situé à l'est de l'abattoir de la rue de la Rochechouart.

Nos des bancs.	Noms donnés par les ouvriers.		Epaisseur.
		De l'ouverture au banc, n° 1, ce ne sont que des terres rapportées	13m85
N° 1..	Les fleurs..........	Gypse saccaroïde jaunâtre.......	0.22
2..	Les blancs.........	Gypse saccaroïde plus blanc.....	0.45
3..	Les pieds d'alouette.	Sélénite cristallisée confusément ..	0.65
4..	Les chiens.........	Gypse très-marneux............	0.65
5..	Les cailloux blancs .	Marne blanche très-siliceuse, renfermant des noyaux de silex, et contenant des débris de coquilles de petits corps ovoïdes lisses, indéterminables, et des empreintes de gyrogonites............	2.0
6..	Le banc de 6 pieds.	Gypse saccaroïde blanc..........	2.0
7..	Le banc de 14 pouc.	Gypse saccaroïde rougeâtre......	0.37
8..	Les chiens rouges..	Gypse marneux avec des taches rouges	2.0
9..	Les foies..........	Marne très-argileuse légère, blanchâtre, feuilletée	0.32

(1) Nous devons la connoissance de ces détails et la suite régulière d'échantillons qu'on en a conservés, au zèle éclairé de M. Bélanger, architecte.

Nos des bancs.	Noms donnés par les ouvriers.		Epaisseur.
N° 10..	La pierre blanche..	Marne calcaire blanche, renfermant une quantité prodigieuse de coquilles d'eau douce, savoir : *Limneus elongatus*, *Planorbis lens*, *Gyrogonites*	0m32
11..	La caillase........	(Nous n'avons pas pu avoir d'échantillon certain de ce banc)......	0.65
12..	Les foies.........	Marne très-argileuse feuilletée, grisâtre	2.0
13..	Les cailloux gris ..	Calcaire gris très-compacte, très-homogène, analogue au calcaire siliceux, entièrement dissoluble dans l'acide nitrique	0.27
14..	....	Marne et silex parfaitement semblables au n° 5	9.42
15..	....	Marne argileuse blanche, feuilletée, renfermant une grande quantité de *cyclostoma mumia*, attaquable par l'acide, mais non dissoluble.	
16..	....	Calcaire gris, dur, poreux, en feuillets ondulés, renfermant une zône de quatre à cinq centimètres de moules de coquilles univalves et bivalves, non déterminables, mais reconnoissables pour être des coquilles marines. On y distingue quelques cérites.	
17..	....	Calcaire gris, dur, non homogène, renfermant des débris blancs de coquilles marines.	
18..	....	Le même, mais plus dur, plus brun, et très-sableux, avec des taches noirâtres, comme charbonneuses.	

On doit reconnoître dans ce passage intéressant du terrain gypseux et marneux d'eau douce au terrain calcaire marin, la succession de couches et de fossiles que nous avons déjà observée ailleurs. On voit, après les gypses, les marnes à limnées et planorbes, ensuite les marnes à cyclostome, qui touchent toujours le calcaire, comme on l'a vu à Mantes, à Grignon, ensuite le calcaire marin. Nous avons même un échantillon de grès marin venant du fond d'un de ces puits; mais comme le morceau est mal caractérisé, et qu'il vient d'un autre puits que de celui dont nous venons de décrire les couches, nous n'avons pu en faire une mention expresse.

En allant à l'ouest, la première colline gypseuse qu'on rencontre, et qui borde la vallée de la Seine, est celle de Sanois. C'est une colline très-élevée que l'on voit à l'horizon de presque toutes les campagnes du nord-est de Paris, et qui n'est pas moins remarquable que Montmartre par sa structure et par la puissance des couches de gypse qu'elle renferme.

Les lits y sont disposés presque de la même manière. Ainsi on trouve sur les sommets des amas épais de sables gris et rouge. Ceux de la montagne de Sanois, beaucoup plus élevée que la butte d'Orgemont, portent des meulières d'eau douce; ceux de la butte d'Orgemont, qui a à peu près la même hauteur que Montmartre, renferment des coquilles marines analogues à celles qu'on trouve dans les sables qui recouvrent le sommet de cette dernière colline.

Ces sables de diverses couleurs (n° 1) forment un banc d'environ 12 décimètres d'épaisseur.

On trouve ensuite des couches alternatives de marnes et de gypse. Le détail ci-joint (1) prouve l'analogie qu'il

---

(1) 2. *Marne calcaire grise*, un peu sablonneuse, renfermant de petites huîtres. (*Ostrea lingulata*) 0.21

3. *Marne calcaire* sablonneuse plus jaune 0.33

4. Autre *marne calcaire* sablonneuse 0.21

5. *Marne calcaire grise*, renfermant des huîtres. (*Ostrea lingulata?*) 0.08

6. *Marne argileuse feuilletée* brune 0.65

7. *Marne grise friable* remplie de coquilles 0.21

8. *Marne argileuse grise* sans coquilles . . . .

9. *Marne calcaire poreuse*, friable, jaunâtre, remplie de coquilles d'huître et d'autres coquilles marines, comme celle du n° 11 de la description de Montmartre 0.10

10. *Marne calcaire grise*, mais fragmentaire 0.08

11. *Marne argileuse feuilletée* grise 0.38

12. *Marne calcaire dure* avec quelques grandes huîtres. (*Ostrea spatulata*, ou *hippopus?*) 0.11

13. *Marne argileuse grise* feuilletée, remplie de coquilles et veinée de sélénite cristalisé 1.2

Le milieu est moins feuilleté. Ce sont absolument les mêmes coquilles que celles de la marne, n° 4, de la description de Montmartre.

14. *Gypse* 0.80

15. *Marne argileuse grise feuilletée*, alternant avec des lits de gypse 0.65

16. *Gypse* 0.5

17. Quatre lits de *gypse impur*, alternant avec autant de lits plus minces de *marne argileuse feuilletée* brune 0.80

18. *Marne argileuse feuilletée*, renfermant de gros cristaux de sélénite en fer de lance 0.65

19. *Marne calcaire* blanche 0.33

y a entre la structure de cette colline et celle de Montmartre.

Le gypse exploité qui est au-dessous se distingue, comme à Montmartre, en première ou haute masse et en seconde ou basse masse, et ces dispositions, que nous avons plus particulièrement observées à la butte d'Orgemont et à Sanois, sont, au rapport des ouvriers, les mêmes dans toute la colline.

On doit seulement remarquer, 1°. que nous n'avons pas fait mention de strontiane sulfatée dans la marne verte ni dans celle qui est au-dessous; il paroît qu'on n'en trouve qu'entre les marnes qui séparent la première de la seconde marne; elle y est en lit mince, onduleux, et porte le nom de *clicart*.

2°. Qu'on trouve dans les marnes calcaires qui séparent les deux masses, des noyaux siliceux blancs opaques, qui sont plats, lobés et mamelonnés comme les ménilites.

En remontant vers le nord-ouest on trouve le grand

20.	*Marne argileuse* verte. C'est la même que celle du banc, n° 18, de la description de Montmartre; son épaisseur est, comme à Montmartre, d'environ	4.00
21.	*Marne argileuse* feuilletée jaune	2.00
	Elle renferme vers son milieu le lit mince de cythérées plates, n° 1. Il est mêlé ici de quelques cérites écrasées, et contient une couche mince de 6 à 8 millimètres de sélénite cristallisée.	
22.	*Gypse*	1.33
23.	*Marne calcaire* dure	1.65

plateau gypseux sur lequel est placée la forêt de Montmorency. La colline proprement dite est composée de marne verte, d'une masse très-épaisse de sable argilo-ferrugineux sans coquilles, et enfin d'une couche mince de meulière d'eau douce. Entre les marnes et le sable, se présentent dans quelques points, et notamment dans la colline de Montmorency, les huîtres qui recouvrent toujours ces marnes.

Le plâtre est très-peu élevé au-dessus du niveau de la plaine; il y a des carrières tout le long de la côte, depuis Montmorency jusqu'à Frepillon. Les ouvriers y reconnoissent deux masses. La masse supérieure a généralement de 3 à 4 mètres. C'est à Saint-Prix qu'elle est la plus puissante. Un ouvrier nous a assuré qu'elle avoit jusqu'à 16 mètres d'épaisseur. On trouve des os de mammifères dans ces couches, comme dans celles de la première masse de Montmartre.

Les marnes argileuses vertes qui recouvrent le plâtre sont très-peu épaisses, en sorte que les collines très-élevées qui composent cette chaîne sont presque entièrement formées de sable siliceux rougeâtre, souvent mêlé d'argile.

Avant d'arriver à Saint-Brice, on voit à gauche de la route la dernière carrière à plâtre de la colline de Montmorency. Elle ne représente qu'une masse à peine recouverte par quelques mètres de marnes blanches, jaunes et verdâtres, en couches minces et sans coquilles. On a trouvé des os fossiles dans la masse de gypse.

On doit regarder comme suite ou appendice de cette

longue colline les buttes de Groslay, de Pierrefitte et d'Écouen. La structure de la butte de Pierrefitte est la même que celle du coteau de Montmorency. Les carrières de gypse sont situées à son pied, et presque au niveau de la plaine. La masse a environ 7 mètres d'épaisseur. On n'y a pas rencontré d'os fossiles. Au-dessus on trouve les marnes vertes recouvertes de sables et de grès sans coquilles. Plus à l'ouest, mais à l'est de Garges, est une élévation très-sensible dans laquelle on exploite du plâtre.

La butte de Sarcelle tient à celle de Pierrefitte. Le plâtre n'en est pas exploité; mais ses masses d'argile verdâtre alimentent de fortes briqueteries établies sur le bord de la route.

La butte d'Écouen est comme isolée. Les carrières de plâtre qui sont voisines de Villiers-Lebel sont situées, comme dans les autres coteaux de cet arrondissement, presque au niveau de la plaine. La masse a 3 ou 4 mètres d'épaisseur, et renferme des os fossiles; elle est recouverte par des lits puissans de marnes blanches et de marnes argileuses verdâtres qui alternent entre elles et avec des marnes jaunes. On retrouve, au-dessous de ces bancs de marne, les coquilles d'huître qui appartiennent à la formation gypseuse et qui la caractérisent, et enfin les sables qui la surmontent.

Enfin, en allant plus au nord, on arrive aux collines qui bordent la bande gypseuse de ce côté. Ce sont les buttes de Châtenay, de Mareil et la colline qui domine Luzarche, et qui porte Epinay et Saint-Martin-du-

Tertre. On exploite du plâtre dans plusieurs points de ces buttes et collines; mais nous n'avons aucun détail sur ces carrières.

Les dernières buttes de plâtre du côté de l'ouest sont celles de Cormeilles, Marines et Grisy. Ces buttes appartiennent à la deuxième ligne. Le plâtre n'y forme qu'une masse qui, au rapport des ouvriers, a de 6 à 7 mètres de puissance; elle est recouverte de marnes blanches, de marnes vertes et d'un banc assez puissant de sable et de grès à coquilles marines. Cette disposition est la même dans les trois collines qu'on vient de nommer; mais il n'y a pour l'instant que la butte de Grisy où le plâtre soit exploité. Le vallon entre Grisy et Cormeilles est rempli de fragmens de calcaire et de silex à coquilles d'eau douce.

En montant vers le sud on trouve la colline qui borde la rive droite de la Seine à Triel, et qui s'étend de Chanteloup à Évêquemont. Cette longue colline termine à l'ouest la bande des collines gypseuses, et présente à peu près la même disposition que toutes celles qui appartiennent à la seconde ligne de ces collines. Nous avons déjà décrit, à l'article de la formation calcaire, la base de cette colline creusée de nombreuses carrières de calcaire marin. C'est à mi-côte que se voient les carrières de pierre à plâtre, très-importantes par leur situation sur le bord de la Seine.

Le sommet de la colline est composé d'une masse puissante de meulière et de silex d'eau douce renfermant un grand nombre de limnées, de planorbes et de gyrogonites très-bien conservés.

On

On trouve ensuite les grès qui ne renferment aucune coquille, et qui recouvrent les marnes qui viennent après. On voit d'abord, comme à l'ordinaire, les marnes sablonneuses qui renferment les huîtres, puis les marnes argileuses vertes.

L'entrée des plâtrières est à mi-côte; elles sont très-étendues. Il y a 7 à 8 mètres de masse gypseuse dans laquelle on trouve des os fossiles. On observe au-dessous de cette masse, en descendant la côte, et par conséquent entre le gypse et le calcaire, les couches de marnes et de gypse dont nous donnons ci-dessous l'énumération détaillée (1).

---

		mètres.
(1) 1.	*Gypse tendre*, rempli de masses solides, environ . . .	1·00
2.	*Marne calcaire* blanche	0·32
3.	*Argile brune feuilletée*	0·16
4.	*Marne blanche*	0·16
5.	*Argile brune feuilletée*, analogue à ce qu'on appelle les *foies* à Montmartre	0·11
6.	*Gypse argileux*	0·16
7.	*Marne calcaire* grise, dure	0·4
8.	*Gypse argileux*	0·05
9.	*Marne blanche* friable	0·05
10.	*Marne grise* dure	0·05
11.	*Marne calcaire dure* à cassure spathique dans quelques points, infiltrée de silice, et renfermant de petits cristaux de quartz. La couche est inégale; son épaisseur moyenne est de	0·11
	Cette marne, analogue à celle de Neuilly, etc., qui renferme des cristaux de quartz, indique, comme nous l'avons fait observer plusieurs fois, les premières assises de la formation du calcaire marin.	
12.	*Marne calcaire* dure, mais cependant fissile	0·22

On voit qu'on compte environ vingt-trois lits plus ou moins épais de marnes gypseuses, calcaires, argileuses, sablonneuses, entre la formation gypseuse proprement dite et la formation du calcaire marin caractérisée par les coquilles de mer qu'il contient. Ces marnes intermédiaires ne renfermant aucun fossile caractéristique, on ne sait à quelle formation les attribuer; mais quoique la succession de leurs lits soit sujette à varier dans ses détails, on trouvera des points de ressemblance nombreux dans la position respective des couches les plus différentes et les plus reconnoissables, si on veut comparer la description que nous venons de donner avec celle que nous avons donnée des marnes qui recouvrent les diverses carrières de calcaire marin que nous avons décrites. On y retrouvera, par exemple, dans la même position respective, le calcaire spathique à cristaux de

---

13.	*Marne calcaire* dure sablonneuse	0m64
14.	*Marne argileuse* grise feuilletée	0·11
15.	*Calcaire sablonneux* avec des points noirs	0·5
16.	*Marne calcaire* friable blanche et prismatique	0·22
17.	*Marne calcaire* feuilletée sablonneuse	0·27
18.	*Argile grise feuilletée*	0·03
19.	*Calcaire friable* prismatique	0·32
20.	*Argile grise* feuilletée	0·05
21.	*Sable agglutiné* avec infiltration calcaire et ferrugineuse, devenant vers le bas plus friable et plus fin	1·0
22.	*Calcaire compacte*, mais marneux. On n'a pas pu en mesurer l'épaisseur.	
23.	6 à 7 mètres plus bas on voit du calcaire dur, mais cependant comme poreux et tufacé, et 6 à 7 mètres encore plus bas, se trouve le calcaire marin coquillier.	

quartz, la marne calcaire dure fragmentaire, la couche de sable ferrugineux agglutiné et les petits lits de marne argileuse feuilletée.

Art. II. — *Terrain entre Seine et Marne.*

En reprenant la description de la seconde division du terrain que nous examinons, par son extrémité orientale, nous retrouvons aux environs de la Ferté-sous-Jouarre, sur la rive gauche de la Marne, des buttes gypseuses absolument semblables par leur structure à celles de la rive droite, que nous avons décrites au commencement de l'article premier. Ces buttes, la plupart exploitées, sont celles de Villaré au sud de Vitry, de Tarteret à l'est de la Ferté, de Jouarre, de Barusset au sud de Saint-Jean-les-Deux-Jumeaux, et plus à l'ouest, en allant vers Meaux, les petites buttes de Dieu-l'Amant, de Baubry, de Boutigny et de Nanteuil-les-Meaux.

On trouve ensuite, en allant toujours vers l'ouest, les plâtrières de Quincy. On y voit les marnes argileuses vertes qui recouvrent ordinairement le plâtre, et au-dessus le terrain siliceux d'eau douce. Les couches gypseuses renferment des os fossiles; ce qui doit faire supposer qu'elles appartiennent à la première masse.

La colline d'Ebly appartient à la formation gypseuse. Il y a de ce point, jusqu'auprès du confluent de la Marne avec la Seine, une grande étendue de terrain sans plâtre; mais on doit remarquer que le calcaire marin disparoît également, et que ces deux formations reparoissent en même temps près de Creteil.

La colline qui domine Creteil, au sud-est et au pied de laquelle se voit le hameau de Mesly, fait partie de la formation gypseuse. Le sommet de cette colline domine de quelques mètres l'entrée des plâtrières. On trouve d'abord des marnes argileuses vertes, des marnes calcaires dures et des rognons de gypse cristallisé, vulgairement nommés *grignard*.

On y reconnoît ensuite les trois masses. La première est à 30 mètres de profondeur; elle avoit 1 mètre seulement de puissance : elle est maintenant épuisée. La seconde est à 34 mètres; elle a environ 1 mètre 15 centimètres de puissance. La troisième, qui est à 38 mètres de profondeur, a 1 mètre 3 décimètres d'épaisseur; c'est elle qu'on exploite actuellement. Elle est composée de deux bancs distincts. Ces masses sont séparées par des lits de marne feuilletée. On n'a point encore trouvé d'os fossiles dans ces couches de gypse.

On ne connoît au sud de la ligne que nous venons de parcourir aucune carrière de plâtre, ni même aucune colline qui puisse être regardée comme appartenant à cette formation.

Art. III. — *Rive gauche de la Seine.*

La rive gauche de la Seine présente une vaste étendue de terrain qui appartient à la formation gypseuse. On n'y retrouve pas du plâtre dans tous ses points; mais partout on y voit les marnes vertes, les cristaux de sélénite, et souvent même les huîtres et les masses de

strontiane sulfatée qui caractérisent cette formation. La carte en fait voir l'étendue. Nous ne parlerons donc que de quelques lieux plus remarquables que les autres.

La superposition du gypse sur le calcaire est encore très-évidente dans ce canton. Ainsi, dès qu'on monte à Thiais, à Villejuif, à Bagneux, à Châtillon, à Clamart, on quitte le plateau calcaire et on s'élève sur le terrain gypseux.

Les premières carrières sont celles de Villejuif. On y voit les huîtres, les marnes vertes, les strontianes sulfatées et des bancs de gypse exploitables.

Il y a également du gypse vers l'extrémité occidentale de ce plateau, dans le vallon de Meudon, sur le chemin de ce village aux Moulineaux; mais on ne l'a pas exploité.

En suivant les pentes de ce même plateau, on trouve les plâtrières de Bagneux, de Châtillon et de Clamart, qui forment la première ligne de ce côté, et qui se ressemblent dans tous les points : en décrire une, c'est faire connoître les autres.

Il y a 20 mètres environ de l'ouverture des puits à la première masse, c'est-à-dire des marnes à la masse exploitée; car on se garde bien de traverser les sables qui, plus au sud ou à l'ouest, recouvrent les formations gypseuses. On trouve d'abord les marnes grises et jaunes sablonneuses renfermant des coquilles fossiles d'huître, comme à Montmartre. La masse de gypse varie beaucoup d'épaisseur; elle est, d'après le rapport des ouvriers, mince sur les bords des côteaux, et elle diminue

même tellement d'épaisseur qu'elle ne vaut plus les frais d'exploitation; mais vers le milieu elle a jusqu'à 6 mètres de puissance.

C'est dans ce canton et dans le village de Fontenay-aux-Roses qu'on a traversé toute la masse de gypse, et qu'on a pénétré jusque dans la formation calcaire, en creusant un puits, ainsi que nous l'avons annoncé dans le premier chapitre. Ce puits étant terminé et muraillé lorsque nous l'avons examiné, nous n'avons pu avoir une connoissance exacte des couches qu'on a traversées; nous avons été obligés de nous en fier aux rapports qu'on nous a faits, constatés par les déblais que nous avons vus sur le sol. Il en résulte qu'on a d'abord traversé une couche de sable de 3 mètres, puis des marnes sablonneuses renfermant des huîtres, environ un mètre; ensuite 4 à 5 mètres de marne verte et du mauvais gypse; enfin des couches nombreuses et épaisses de marnes, puis encore du gypse. On a alors trouvé ce calcaire tendre qu'on nomme *mauvais moellons*, et on est arrivé au calcaire dur coquillier appelé *roche*. C'est à 56 mètres qu'on a rencontré cette pierre et qu'on a trouvé de l'eau; mais, depuis cette époque, nous nous sommes assurés d'une manière encore plus précise de cette superposition, et nous avons pu voir clairement le passage de la formation gypseuse à la formation du calcaire marin. Nous sommes descendus dans une des carrières de pierre calcaire la plus voisine de Bagneux; et quoique la position gênante où on se trouve dans ces puits ne nous ait pas permis de détailler toutes les couches de marne qu'on

avoit traversées pour arriver au calcaire, nous avons pu faire les observations suivantes.

Le calcaire exploité se trouve dans ce puits à environ 22 mètres de la surface du sol; il est recouvert par des bancs alternatifs de marne calcaire blanche peu solide, et de marne argileuse feuilletée : ces derniers sont très-minces. Au milieu de ces bancs nous avons reconnu un petit lit de gypse dur, de 2 à 3 centimètres d'épaisseur; il porte sur l'une de ses surfaces des empreintes de coquilles marines difficiles à déterminer, mais qui nous ont paru appartenir à des lucines et à des cérites. Nous n'avons point vu la couche de marne verte, et les ouvriers nous ont assuré qu'elle n'existoit pas ici.

Avant d'arriver au calcaire marin on trouve un banc de sable gypseux d'environ 5 décimètres d'épaisseur; il contient aussi des coquilles marines; on peut même y reconnoître très-distinctement des cérites tuberculées, quoiqu'elles soient très-friables et presque toujours brisées. Le même banc renferme en outre de petits rognons blancs de strontiane sulfatée; il est soutenu par une couche de gypse impur, épaisse d'un décimètre environ. Ce gypse, quelquefois très-dur, forme un assez bon ciel à la carrière; mais dans d'autres endroits il est friable et rubané de blanc et de fauve. Il repose presque entièrement sur le calcaire marin, car il n'en est séparé que par un lit mince de 2 à 3 centimètres de marne très-argileuse.

Le premier banc de calcaire qui se présente au-dessous de lui appartient au lit que les ouvriers appellent *roche*, et qui est principalement caractérisé par les cé-

rites, les ampulaires, les lucines et les bucardes qu'il renferme. C'est une pierre très-solide et d'une fort bonne qualité.

Nous avons reconnu dans les lits de sable argileux et de sable calcaire qui précèdent le gypse dans la butte de Clamart, un lit qui renferme une grande quantité de cérites et d'autres coquilles marines.

De Bagneux à Antony nous ne connoissons pas d'exploitation régulière de gypse : il paroît que les couches y sont trop minces; mais on y voit les marnes du gypse et les huîtres qui les caractérisent.

Nous avons reconnu, près du château de Sceaux, les huîtres dans des sables argileux, et près des cascades on voit les marnes vertes et les sphéroïdes de strontiane sulfatée.

A Antony, l'entrée des carrières à plâtre est au plus à 10 mètres au-dessus du fond de la vallée; d'où il résulte, comme les détails suivans (1) vont le prouver,

(1)

1.	*Terre franche*, et au-dessous une couche de *silex* . . .	0m20
2.	*Marne grise*	
3.	*Marne feuilletée* brune, au milieu de laquelle est un lit d'*argile sablonneuse* rouge	0,33
4.	*Marne brune* onctueuse au toucher (pain de savon) . .	1.0
5.	*Marne grise* assez dure	1.0
6.	Premier banc de *gypse* assez bon (dits *banc des hauts*) .	1 à 1.15
7.	*Marne grise*	0.27
8.	*Marne blanche* environ	0.07
9.	Deuxième banc de *gypse*, il est grenu, d'un brun foncé (dit *plâtre bleu*)	0.27
		4.29

que

que les couches de gypse sont beaucoup inférieures au lit de la Bièvre.

En suivant la Bièvre et pénétrant dans la vallée, on reconnoît partout, au niveau du fond de cette vallée, les marnes vertes renfermant les grands cristaux de gypse et des masses volumineuses de strontiane sulfatée à retraits prismatiques.

C'est à cette vallée que se terminent les lits de gypse susceptibles d'exploitation. Il y a bien encore sur la rive droite de la Bièvre une assez grande étendue de terrain appartenant à la formation gypseuse; mais le plâtre y est ou trop peu abondant ou trop enfoncé au-dessous du

---

	Report	4·29
10.	*Marne blanche*	0·03
11.	Troisième banc de *gypse*, mêlé de marne blanche . . .	0·16
12.	Autre *marne blanche*	0·03
13.	Un autre petit lit de *marne grise* dure, mêlée de gypse .	0·03
14.	*Marne brune feuilletée*	0·08
15.	*Marne grise feuilletée* (nommée *souchet*). On y a trouvé des os fossiles	0·33
16.	*Marne calcaire* blanche très-dure	0·16
17.	Quatre lits de *marnes grises* ou brunes, formant ensemble environ	0·50
18.	Enfin la pleine masse de *gypse*, que les ouvriers sous-divisent en sept lits, auxquels ils donnent différens noms. C'est dans cette masse qu'on a trouvé le plus d'os fossiles . .	2·50
	Cette masse pose sur un plancher de marne.	
		8·11 (1)

(1) Cette épaisseur, déduite de rapports d'ouvriers, ne s'accorde pas avec celle qui résulte des mesures que nous avons prises nous-mêmes, depuis cette époque, avec le baromètre.

niveau des eaux, pour qu'on puisse l'exploiter avec avantage.

Nous avons été examiner la disposition du terrain à Longjumeau, dans la vallée de l'Yvette, et la profondeur de cette vallée nous a permis d'étudier avec détail la succession des couches supérieures de la formation gypseuse dans ce lieu.

Lorsqu'on commence à descendre, on remarque des deux côtés du chemin une masse considérable de sable dans laquelle la route est creusée. Ce sable renferme un grand nombre de silex et de meulières d'eau douce qui contiennent des planorbes, des lymnées, des potamides et d'autres coquilles fluviatiles, et en outre des empreintes de tiges de végétaux, et des graines mêmes assez bien conservées ; on y trouve aussi des bois changés en silex (1).

A l'ouest est une autre sablonnière un peu plus basse que la précédente ; on n'y trouve pas de bois pétrifié, mais des pierres calcaires, sablonneuses, presque fissiles et d'un gris bleuâtre : ces pierres sont pleines d'empreintes noirâtres de feuilles et de tiges qui paroissent avoir appartenu à des graminées aquatiques ; elles répandent par le choc une odeur fétide.

On retrouve ensuite un sable jaunâtre (n° 1), veiné de blanc et de cramoisi. Cette couche renferme dans sa partie inférieure des coquilles très-friables des genres tellines, lucines, corbules, cérites et même des huî-

---

(1) Voyez la figure et la détermination de ces différens fossiles dans le Mémoire cité plus haut, *Annales du Muséum*, t. XV, p. 381.

tres (1), mais de l'espèce de celles qu'on trouve à Grignon, et non de celles qu'on trouve à Montmartre, dans le sable jaune argileux. On y voit aussi des balanes et des dents de squale. Il n'y a pas de doute que cette couche ne corresponde, par sa position et par les fossiles qu'elle renferme, au banc de sable du sommet de Montmartre, de Mesnil-Montant, d'Orgemont près Sanois, etc.

Viennent ensuite les petites huîtres noirâtres (nº 2) analogues à celles qui précèdent les marnes vertes à Montmartre (*ostrea lingulata*); ici elles sont mêlées de noyaux pierreux du *cytherea nitidula*. Nous avons trouvé au-dessous d'elles une dent de squale et un lit de marne blanche de 22 centimètres d'épaisseur, tout percé de vermiculaires; puis une nouvelle couche (nº 3) d'huîtres d'une très-grande dimension (2) (elles ont jusqu'à 15 centimètres de longueur), formant un lit de 0.8 d'épaisseur; du sable gris-jaunâtre, 0.65, renfermant des moules de coquilles très-nombreux, et enfin un lit mince d'argile feuilletée d'un gris-brun.

On rencontre peu après les marnes vertes avec la

---

(1) *Patella spirirostris.*
Cytherea nitidula, analogue à la variété qu'on trouve à Montmartre, etc.
— *lævigata.*
Corbula striata.
— *gallica.*
— *rugosa.*
Cerithium plicatum.
Murex clathratus, etc.

(2) *Ostrea hippopus*, *pseudo-chama.*

strontiane sulfatée qui les accompagne constamment: au-dessous paroît la petite couche d'argile jaune feuilletée qui renferme ordinairement les cithérées; mais nous n'avons pu les découvrir ici. Enfin viennent les marnes calcaires blanches, les marnes jaunâtres et d'autres marnes blanches que nous n'avons pu suivre, parce que le gazon et la culture recouvrent tout dans cette partie dont la pente est moins rapide; mais nous avons appris qu'on avoit fait à Longjumeau, au bas de la descente du chemin venant de Paris, des fouilles pour y trouver le gypse. On l'y trouve en effet, et on l'eût exploité si l'eau, très-abondante dans le fond d'une vallée aussi profonde, n'eût rendu les travaux trop dispendieux.

En traversant Longjumeau et remontant du côté de Balainvillers, on trouve à peu près les mêmes couches que celles que nous venons de décrire.

A Juvisy on voit encore les huîtres, l'argile verte, la strontiane sulfatée; mais le gypse très-enfoncé, comme à Longjumeau, n'est plus visible.

Essone est le dernier point au sud où paroisse encore la formation gypseuse. Elle n'y est plus représentée que par les marnes vertes et par quelques traces de strontiane sulfatée. C'est ici que commence le terrain de calcaire siliceux.

Il paroît cependant que la formation gypseuse, représentée par les marnes vertes, s'étend sur toute la Beauce, et que c'est aux marnes du gypse qu'il faut rapporter la couche de glaise qu'on trouve partout dans ce pays au-dessous du sable qui en forme la surface.

En revenant vers le nord, et remontant la vallée de Bièvre, on peut suivre sans interruption la formation gypseuse jusque dans le vallon de Versailles et dans celui de Sèvres. Dans ce dernier on a reconnu sur les pentes de Chaville et de Viroflay les marnes vertes; elles sont employées à faire des briques et des tuiles, et celles de ce dernier village ont été long-temps les seules qu'on pût employer avec succès pour en faire les étuis ou gazettes dans lesquelles on cuisoit à la manufacture de Sèvres la porcelaine appelée *tendre*. On a même exploité du gypse sur les hauteurs de Ville-d'Avray, mais on n'a pas obtenu assez de bénéfice de cette exploitation pour la continuer.

M. Defrance a trouvé à la suite de ce même coteau, et près de Roquencourt, des morceaux de calcaire marneux arrondis d'un seul côté, comme s'ils avoient été usés en place par les eaux. Ces pierres sont coquillières et percées par des pholades qu'on y voit encore. On trouve sur quelques-unes des huîtres fossiles qui y adhéroient naturellement et qui y adhèrent encore. Ces huîtres, qui sont celles des marnes du gypse, nous ont fait reconnoître que ces pierres n'appartenoient pas à la formation du calcaire marin, mais plutôt à celle du gypse; elles nous indiquent en outre par leur forme, par les coquilles qui les ont percées et par celles qui y adhèrent, qu'elles faisoient partie d'un rivage de l'ancienne mer.

En descendant de Versailles dans le grand vallon qui court du sud-est au nord-ouest, et qui se jette dans

la vallée de la Maudre, on retrouve encore les couches supérieures de la formation gypseuse. Près de la ménagerie, et à trois ou quatre mètres au-dessous d'une sablonnière qui est sur le bord de la route, on voit presque à la surface du sol les coquilles marines qui recouvrent le terrain gypseux, c'est-à-dire des huîtres semblables à celles de Montmartre, et placées comme elles dans un sable argileux grisâtre; des cythérées, des cérites (1) et même des glossopètres et des fragmens épars de fer limoneux.

Les marnes vertes et les huîtres qui précèdent les différentes coquilles marines des marnes qui recouvrent le gypse telles que, les *cerithium conoidale*, *plicatum*, etc., se montrent encore en face de la grille du parc de Pontchartrain, au bas du même plateau près du moulin de Pontel, dans un ravin auprès du moulin de la Richarderie, et dans beaucoup d'autres points au pied de la colline qui porte Neaufle-le-Vieux, les Bordes, etc., en suivant les pentes méridionales du plateau de la forêt de Marly qui borde au nord le vallon de Versailles, on retrouve dans beaucoup de points les marnes vertes, et notamment au-dessus des villages de Saint-Nom, de Crepières et d'Herbeville. On remarque la même disposition sur les pentes septentrionales du

(1) *Ostrea lingulata.*
Cytherea nitidula. Variété des gypses.
Pectunculus angusticostatus? mais beaucoup plus petit.
Cerithium cinctum.
— *plicatum.*

même plateau. La carte indique les lieux où l'on connoît et où l'on exploite des marnes vertes pour en faire de la tuile.

Mais entre ce plateau et la Seine il y a deux buttes qui offrent la formation gypseuse complète; ce sont les collines de Fresne et le Mont-Valérien.

Nous n'avons aucun détail à donner sur la colline de Fresne qui est au-dessus de Médan. Le Mont-Valérien, qui terminera la description du terrain gypseux, est une butte conique isolée, semblable par sa forme à celle de Montmartre. Elle n'appartient cependant pas à la même ligne de gypse; mais elle fait partie de la seconde ligne du sud, qui comprend Bagneux, Clamart, etc. Elle est située, comme toutes les buttes de gypse de cette ligne, sur un plateau calcaire épais et très-relevé, et n'est composée comme elles que d'une masse de gypse.

La description que nous en donnons ci-dessous fait voir que la disposition générale de ses couches est d'ailleurs la même.

Le sommet de la montagne offre une masse de sable rouge et jaune d'une épaisseur considérable. Nous n'y avons vu aucune coquille. On trouve au-dessous la couche de sable argileux grisâtre qui renferme les coquilles d'huîtres, puis les couches suivantes de marne et gypse (1):

---

(1) 1. *Marne grise*, environ 0.28
2. *Marne blanche* feuilletée 0.00

Nous n'avons pu déterminer l'épaisseur de la dernière masse de marne, ni par conséquent savoir précisément comment se fait ici le passage de la formation gypseuse

---

3.	*Marne grise*	0·05
4.	*Marne calcaire blanche*, avec un filet argileux	0·16
5.	*Marne blanche* un peu verdâtre en haut	0·4
6.	*Marne verte*	0·65
7.	*Marne calcaire* blanche	0·11
8.	*Marne grise* rayée de jaune	1·00
9.	*Marne blanche*	0·8
10.	*Marne verte* feuilletée	0·00
11.	*Marne blanche*	0·33
12.	*Marne verte* feuilletée	0·33
13.	*Marne blanche*	0·33
14.	*Marne verdâtre* peu feuilletée, fendillée	1·0
15.	*Marne blanche* fendillée, mêlée de filets gypseux jaunes	1·3
16.	*Marne feuilletée*	0·4
17.	*Gypse* mêlé de marne calcaire	0·11
18.	*Marne grise* feuilletée	0·19
19.	*Marne blanche*	0·44
20.	*Gypse* mêlé de marne	0·40
21.	*Marne calcaire feuilletée*, mêlée de gypse	0·52
22.	Masse de *gypse* composée d'environ dix-sept lits, auxquels les ouvriers donnent des noms différens, et formant une épaisseur d'environ	7·00
	Du septième au quinzième lit inclusivement on trouve des os fossiles. Ce gypse est généralement plus tendre que celui de Montmartre.	
23.	Immédiatement au-dessous de la masse de gypse on trouve un *calcaire à grain fin*, environ	0·14
24.	*Argile jaune*	0·06
25.	*Argile* d'un gris brun et légèrement feuilletée	0·16
26.	*Marne argileuse blanche*	0·20
27.	*Marne argileuse brune.*	

à

à la formation calcaire; mais les coquilles marines qu'on voit à Montmartre, dans le fond de la troisième masse, celle que nous avons vu dans les couches de gypse et de marne gypseuse qui recouvrent, près de Bagneux, la formation calcaire, les petits lits et les rognons calcaireo-gypseux qu'on observe dans les dernières assises des marnes du calcaire grossier (1), nous indiquent qu'il n'y a point eu d'interruption complette entre la formation du calcaire marin et celle du gypse d'eau douce; que les couches inférieures du gypse, déposées dans une eau marine, comme le prouvent les coquilles qu'elles renferment, forment la transition entre le terrain de calcaire marin et le terrain d'eau douce qui l'a suivi. Cette transition est difficile à concevoir; mais si les observations de nos prédécesseurs et les nôtres sont exactes, les faits ne nous permettent guère d'en douter. Au reste, la plupart des géologues de la savante école de Freyberg reconnoissent entre les formations les plus distinctes dans leurs extrêmes, ces nuances dans les points de contacts qui leur ont fait établir la classe des terrains de transition; en sorte qu'on peut dire que la séparation brusque qui existe aux environs de Paris, entre la craie et le calcaire grossier, est plutôt une singularité et une exception aux règles ordinaires, que le passage insensible du calcaire et du gypse marin au gypse et aux marnes d'eau douce.

(1) On voit, dit fort bien M. Coupé, les restes du gypse dans les marnes du calcaire; seulement il auroit dû appeler *ces restes* les *commencemens*.

La description détaillée que nous venons de donner du terrain gypseux des environs de Paris, en prouvant par des faits nombreux et pour ainsi dire par une énumération complette des parties, les lois de superposition que nous avons établies dans le premier chapitre de ce Mémoire, fait connoître en outre une autre règle dans la disposition des collines gypseuses entre elles.

On doit remarquer que la bande gypseuse a une direction générale du sud-est au nord-ouest, et que les lignes de collines qu'on peut y reconnoître suivent à peu près la même direction. On observe de plus que les buttes et les collines qui sont dans le même alignement, ont la même composition. Ainsi la série intermédiaire dans laquelle entrent les buttes de Montreuil, Mesnil-Montant, Montmartre, Argenteuil et Sanois, est la plus épaisse et présente d'une manière distincte au moins deux couches de gypse dont la première a une grande puissance.

La seconde ligne au nord, composée des collines de Quincy, Carnetin, Chelle, Pierrefitte, Montmorency, Grisy et Marines, ne renferme qu'une ou deux couches un peu enfoncées sous le sol, et recouvertes de moins de marnes, mais d'une plus grande masse de sable que la première. La couche principale de gypse est encore puissante, et l'exploitation, qui en est facile, a rarement lieu par puits; elle se fait ordinairement à tranchée ouverte, comme dans la première ligne.

La troisième ligne n'est plus composée que de petites buttes isolées, mais très-multipliées. Il n'y a qu'une

couche de gypse, et cette couche peu puissante, et placée assez profondément par rapport à la surface générale du sol où elle est située, ne paieroit pas les frais qu'occasionneroient les déblais d'une exploitation à ciel ouvert : aussi presque toutes les carrières sont-elles exploitées par puits. Telles sont celles des environs de Laferté-sous-Jouarre, celles de Meaux au nord-ouest de cette ville, et enfin celles de Dammartin et de Luzarches.

Au sud de Paris et de la ligne principale on peut reconnoître une première ligne composée des collines de Mesly, Villejuif, Bagneux, le Mont-Valérien et Triel. La plupart de ces carrières n'offrent qu'une couche de gypse située assez profondément au-dessous d'une grande épaisseur de sable : aussi sont-elles presque toutes exploitées par puits ou par galeries.

La seconde ligne de gypse du midi est si mince que l'exploitation en a toujours été abandonnée après quelques tentatives ; quelquefois même la formation gypseuse ne se manifeste que par des marnes vertes et par les cristaux de gypse et de strontiane sulfatée qu'on y trouve. On la voit à Longjumeau, à Bièvre, à Meudon, à Ville-d'Avray, dans le parc de Versailles et sur les penchans nord et sud de la grande colline sableuse qui va du sud-est au nord-ouest, depuis Ville-d'Avray jusqu'à Aubergenville ; elle suit la direction dominante des collines de ces cantons.

Nous reviendrons sur cette direction lorsque nous parlerons de la formation des sables supérieurs.

SEPTIÈME FORMATION.

Grès et sable sans coquille.

Ce terrain, qui constitue en totalité ou en très-grande partie les sommets de presque tous les plateaux, buttes et collines des cantons que nous décrivons, est tellement répandu, qu'une carte peut seule faire connoître les lieux où il se trouve et la circonscription des terrains qu'il forme. Sa structure assez uniforme n'offre que très-peu de particularités intéressantes.

On le voit au nord de la Seine, et, en allant de l'est à l'ouest, dans les lieux suivans :

A l'ouest de la Ferté-sous-Jouarre, immédiatement au-dessus du calcaire.

Presque toute la forêt de Villers-Cotterets est sur le grès qui est séparé du calcaire marin par des lits nombreux de marnes calcaires mêlées dans les parties inférieures de quelques lits minces de gypse.

De Levignan à Gondreville il forme de longues collines qui se dirigent du sud-est au nord-ouest.

Au sommet de la butte de Dammartin, c'est un sable rougeâtre recouvert de meulière d'eau douce.

Sur la droite de Pontarmé on remarque de nombreuses buttes de sable blanc.

Les parcs de Morfontaine et d'Ermenonville doivent

aux bancs et aux masses de grès qu'ils renferment une partie de leurs beautés pittoresques.

Plus au nord-ouest, la forêt de Hallate est couverte de grès. La butte d'Aumont, sur son bord septentrional, est composée d'un sable blanc quartzeux très-pur, exploité pour les fabriques de glace, de porcelaine, etc.

Aux environs du Mesnil-Aubry, on trouve dans la plaine des bancs de grès qui forment le plateau au-dessous du calcaire d'eau douce. Ces grès semblent être plus bas que les autres; mais ce plateau est déjà assez élevé, puisqu'on monte de toutes parts pour y arriver.

Le grès qu'on voit en descendant à Vauderlau, est recouvert de marnes calcaires mêlées de silex.

En approchant de Paris on remarque que toutes les collines gypseuses sont surmontées d'un sable rougeâtre quelquefois recouvert de grès marin.

Les bois de Villiers-Adam, de Mériel, etc., offrent des bancs et des blocs de grès.

Les grès dont on pave la route de Meulan à Mantes, se prennent dans les bois qui couvrent les sommets des collines du bord septentrional de la route, du côté des Granges.

Plus à l'ouest, les buttes et collines de Neuville, de Serans, de Montjavoult, etc. etc. sont en sable souvent mêlé de grès.

Entre Seine et Marne les terrains de sables et de grès sont beaucoup plus rares; nous n'en connoissons qu'à la descente de la Ferté-Gauché et près la Seine, sur les

hauteurs à l'est de Melun et sur celles de Samoineau. Dans ces deux derniers lieux le grès est placé sur le calcaire siliceux.

Au sud de la Seine, et toujours dans la direction du sud-est au nord-ouest, le sable et le grès recouvrent la plus grande partie des terrains compris dans notre carte, et se prolongent au sud bien au-delà des limites que nous nous sommes prescrites. Ils forment, comme nous l'avons dit, tout le sol de la Beauce; mais cette même nappe, avant de prendre cette étendue, recouvre les sommets de quelques buttes et de quelques collines isolées.

Le sable se montre d'abord au sommet du Mont-Valérien, en couches jaunes et rougeâtres.

Vient ensuite la longue colline plate à son sommet, qui s'étend de la Mauldre à la vallée de Sèvres, et qui porte la forêt de Marly (1). Le sable y forme une masse fort épaisse. Il est très-micacé dans quelques endroits, et notamment près de Feucherolles et d'Herbeville. Le mica est même si abondant dans ce lieu qu'on l'en extrait depuis long-temps pour le vendre aux marchands de papiers de Paris, sous le nom de *poudre d'or*, pour sécher l'écriture. Il y a du mica blanc et du jaune (2).

---

(1) Presque tous les bois et les forêts des environs de Paris sont sur le sable : les uns sur le sable ou grès des hauteurs; telles sont les bois ou forêts de Marly, de Clamart, de Verrière, de Meudon, de Villers-Adam, de Chantilly, d'Halatte, de Montmorency, de Villers-Cotterets, de Fontainebleau : les autres sont sur les sables ou limon d'attérissemens anciens; tels sont les bois et forêts de Bondy, de Boulogne, de Saint-Germain, etc.

(2) Nous tenons cette notice de M. Fourmy.

Cette longue colline se joint au vaste plateau de la Beauce par le col sablonneux sur lequel est bâti le château de Versailles. Ce grand plateau, dont notre carte donne une idée suffisante, n'est plus coupé par aucune vallée assez profonde pour pénétrer jusqu'au sol de calcaire siliceux qu'il recouvre, et qu'on ne peut reconnoître que sur ses bords, tant à l'est qu'à l'ouest, comme la carte le fait voir.

Au sud-est de Versailles est le plateau isolé ou presque isolé qui porte les bois de Meudon, de Clamart et de Verrière. C'est dans ce plateau qu'est creusée, près de Versailles, la sablonnière de la butte de Picardie, remarquable par la pureté de son sable et par les belles couleurs qu'il présente, et près du Plessis-Piquet, la sablonnière de ce nom, haute de plus de 20 mètres, et composée de sable rouge, blanc et jaune. Ce plateau contient quelques blocs de grès isolés au milieu du sable; on en trouve dans les environs de Meudon, sur les buttes de Sèvres, etc.; on les exploite pour paver les routes de second ordre dans ces lieux. On voit bien clairement sa position au-dessous des meulières sans coquilles et du terrain d'eau douce.

Le sable ne recouvre pas partout immédiatement le sol de calcaire siliceux; on trouve souvent entre ces deux terrains la formation gypseuse.

En descendant, près de Pont-Chartrain, du plateau qui porte le bois de Sainte-Apolline au village des Bordes qui est sur le sol des marnes gypseuses, on traverse les différens terrains qui recouvrent ce sol. La coupure qu'on

y a faite pour rendre la route moins rapide, permet d'en étudier facilement et d'en reconnoître clairement les superpositions. On voit très-distinctement, au sommet du plateau, un lit de meulière sans coquilles, en morceaux peu volumineux, dans une marne argileuse et sablonneuse. Ce lit repose sur une masse considérable de sable au milieu de laquelle se trouvent de puissans bancs de grès. Si ensuite on descend plus bas, c'est-à-dire, soit vers l'entrée du parc de Pont-Chartrain, soit vers le moulin de Pontel, on trouve les marnes vertes des gypses et les grandes huîtres qu'elles renferment.

De La Queue, route d'Houdan, au lieu dit *le Bœuf couronné*, règne un plateau élevé entièrement composé de sable, dont l'épaisseur est très-considérable. On remarque qu'il est recouvert d'une couche de sable rouge argileux qui renferme des meulières en fragmens que nous soupçonnons appartenir à la formation d'eau douce. Cette meulière passe souvent à l'état de silex pyromaque, tantôt blanc et opaque, tantôt gris ardoisé et translucide.

Après Adainville, sur la route d'Houdan à Épernon, on monte sur le terrain de sable sans coquilles qui se continue ainsi jusqu'à Épernon. Il forme des landes élevées montrant dans quelques endroits le sable nu, blanc, mobile, qui, poussé par le vent d'ouest, s'accumule contre les arbres, les buissons, les palissades, les ensevelit à moitié, et y forme des dunes comme aux bords de la mer.

Vers le sommet des coteaux les plus élevés, comme celui

celui qui mène de l'Abyme à Tout-li-Faut, on trouve la meulière dans le sable rouge. On voit les premiers rochers de grès au nord, un peu avant d'arriver à Hermeray.

Les cinq caps qui entourent Épernon sont en grès. Les plus remarquables par les masses énormes de grès qu'on y voit, sont celui de la Magdelaine, au nord, et celui des Marmousets, à l'est. Celui-ci est l'extrémité du coteau très-escarpé qui borde au nord le petit vallon de Droué. Il est composé, de sa base presque jusqu'à son sommet, de bancs énormes de grès dur, homogène, gris, sans aucune coquille. Ces bancs, séparés par des lits de sable, sont souvent brisés et comme déchaussés; ils sont recouverts d'un banc horizontal régulier de silex d'eau douce que nous décrirons à l'article X. A mesure qu'on s'approche de Trapes et des vraies plaines de la Beauce, le terrain de sable et de grès devient moins visible, parce qu'il est recouvert presque partout par le terrain d'eau douce qui acquiert alors une épaisseur beaucoup plus considérable.

En partant de Paris et se dirigeant vers le sud, le sable et le grès paroissent dès Palaiseau; le premier est homogène, très-blanc, et renferme des bancs de grès puissans et fort étendus qui couronnent presque toutes les collines, et notamment celles de Ballainviliers, de Marcoussy, de Montlhéry, etc. On les voit encore près d'Écharcon, sur les coteaux qui bordent la rivière d'Essone, et enfin on arrive à la forêt de Fontainebleau, dont le sol est, comme on sait, presque entièrement composé de grès dur et très-homogène.

Cette forêt est située, comme la carte le fait voir, sur le bord oriental du grand plateau de sable de la Beauce; la structure de son sol, célèbre par les beaux grès qu'elle fournit, n'est donc point essentiellement différente de celle de tous les autres plateaux de sable ou de grès que nous venons de décrire dans cet article. Le grès et le sable blanc, en couches alternatives, reposent sur le terrain de calcaire siliceux, et sont recouverts dans beaucoup d'endroits par le terrain d'eau douce (1).

Cette partie du plateau forme une espèce de cap ou de presqu'île sillonnée par un grand nombre de vallons également ouverts à leurs deux extrémités, et différens en cela des vallées ordinaires. Ces vallons sont assez profonds sur les bords des plateaux pour atteindre la formation de calcaire siliceux, comme on le voit à l'est du côté de Moret, au nord du côté de Melun, à l'ouest du côté de Milly, et dans beaucoup de points de l'intérieur même de la forêt; ils sont tous à très-peu près parallèles, et se dirigent du sud-est au nord-ouest, direction générale des principales chaînes de collines que présentent les formations calcaires, gypseuses et sablonneuses des environs de Paris (2). Les collines de grès qui

---

(1) Nous parlerons à l'article X de la disposition de ce terrain calcaire dans la forêt de Fontainebleau; la carte en donne tous les détails.

(2) Nous avons déjà fait remarquer cette direction, page 92, en traitant des diverses lignes de collines gypseuses. Elle est encore beaucoup plus sensible sur les collines de grès, et notamment sur celles de Fontainebleau, comme la carte le fait voir.

forment et séparent ces vallons, sont couvertes vers leurs sommets et sur leurs pentes d'énormes blocs de grès dont les angles sont arrondis, et qui sont dans quelques endroits amoncelés les uns sur les autres. Il nous semble facile de se rendre compte de cette disposition. La force qui a sillonné ce plateau composé de couches alternatives de sable et de grès, entraînant le sable, a déchaussé les bancs de grès qui, manquant alors d'appui, se sont brisés en gros fragmens qui ont roulé les uns sur les autres, sans cependant s'éloigner beaucoup de leur première place. L'arrondissement de la plupart de ces blocs doit être attribué à la destruction de leurs angles et de leurs arêtes par les météores atmosphériques, plutôt qu'au frottement d'un roulis qu'ils n'ont certainement pas éprouvé (1).

Ces grès ne sont pas calcaires, comme on l'a prétendu; très-peu d'entre eux font effervescence avec l'acide nitrique; les cristaux de grès calcaire qu'on a trouvés dans quelques endroits, sont rares, et leur formation est due à des circonstances particulières et postérieures au dépôt du grès qui s'est formé pur et sans mélange primitif de calcaire.

L'exploitation qu'on fait de ce grès dans une multitude d'endroits de la forêt et des environs, les blocs innombrables qui couvrent ce sol, et qui ont été examinés

---

(1) Sur la route du chemin de Milly, dans le lieu dit *la Gorge-aux-Archers*, les blocs de grès présentent l'empreinte d'une *désaggrégation* par plaques hexagonales. (Desmarets fils.)

sur toutes leurs faces par les naturalistes qui parcourent fréquemment cette belle forêt, auroient fait découvrir quelques coquilles, pour peu que ces grès en renfermassent. Ainsi l'absence de tout corps organisé dans les grès de cette formation, est aussi bien établie que puisse l'être une vérité négative qui résulte seulement de l'observation.

HUITIÈME FORMATION.

Sable, grès et calcaire marins supérieurs.

Nous avons dit, chap. I[er], art. VIII, qu'on trouvoit dans plusieurs lieux, au-dessus des sables et des grès sans coquilles qui recouvrent les formations de calcaire siliceux ou de gypse, un lit rarement fort épais et quelquefois très-mince de grès pur et de sable ou de grès calcaire, ou même de calcaire, qui renfermoit une assez grande quantité de coquilles marines généralement semblables par les genres et même par les espèces aux coquilles du système moyen du calcaire grossier; nous avons donné les noms de la plupart de ces coquilles, et indiqué les lieux où elles se trouvent, soit à l'article cité plus haut, soit en décrivant, art. V et VI du ch. II, les collines gypseuses au sommet desquelles on trouve ces grès. Il nous resteroit donc peu de chose à dire sur cette dernière couche marine coquillière, si de nouveaux voyages faits depuis la rédaction de l'art. VIII du chapitre I[er], en ajoutant de nouveaux faits à ceux que nous avons déjà rapportés, ne nous eussent donné la faculté

de rendre l'histoire de cette dernière couche coquillière plus complette et plus générale.

On trouve le dépôt supérieur de coquilles marines bien plus communément sur la rive droite de la Marne, et sur celle de la Seine après sa réunion avec cette rivière, que sur le terrain situé au sud de ces mêmes rivières.

En venant du nord-est, on le voit d'abord sur les hauteurs qui avoisinent Lévignan. Il consiste en une couche peu épaisse de sable siliceux et calcaire, remplie de *cerithium serratum*, qui sont répandus avec une grande abondance dans tous les champs, et il est placé immédiatement sur les énormes bancs de grès sans coquilles qui se montrent de toutes parts dans ce canton, et qui paroissent se terminer à Nanteuil-le-Haudouin.

Cette couche mince de terrain marin coquillier se montre au sommet de l'escarpement qui domine Nanteuil-le-Haudouin, et y fait voir son épaisseur et son exacte position. C'est un lit d'un à deux décimètres de puissance, d'un calcaire sableux assez solide, et renfermant une très-grande quantité de coquilles marines qui se réduisent à trois espèces principales : l'*Oliva mitreola*, le *Citherea elegans* et le *Melania hordeacea*. Celle-ci y est la plus remarquable et la plus abondante. Ce petit lit de coquilles d'une égale épaisseur, sur une assez grande étendue, est immédiatement placé sur les énormes bancs de grès solide, sans aucune coquille, qui forment l'escarpement dont nous venons de parler. Il est immédiatement recouvert du terrain d'eau douce dont on trouve de tous côtés les fragmens épars.

En se portant au nord de Paris, on retrouve la couche marine supérieure sur la route de Beaumont-sur-Oise, en descendant dans la vallée de l'Oise à la hauteur de Mafliers. Nous avons décrit la disposition de cette petite couche marine, chap. II, art. III, page 84; nous ferons seulement remarquer que les bancs de grès sans coquilles qu'on voit ici, étant une dépendance de ceux qu'on trouve depuis Ezanville jusqu'à Moiselles et au-delà, nous portent à croire que la couche de coquilles marines qui recouvre les bancs de grès près d'Ézanville, appartient à la même formation ou au même dépôt que celles de la descente de Mafliers. Or, comme la disposition des grès sans coquilles de la couche sablonneuse coquillière et du terrain d'eau douce, est absolument la même près de Pierrelaye, de l'autre côté de la colline de Montmorency, qu'à Ézanville, nous soupçonnons que cette couche pourroit bien appartenir encore au même dépôt, quoique nous l'ayons décrite à l'article de la formation du calcaire grossier.

Si notre conjecture actuelle se vérifie, il faudra rapporter également à la formation que nous décrivons les grès marins peu épais de Frènes, route de Meaux, de la Ferté-sous-Jouarre, de Saint-Jean-les-Jumeaux et de Louvres, que nous avons mentionnés chap. I, art. III, page 26; car les grès de ces divers lieux sont placés au-dessus du calcaire marin et d'un dépôt plus ou moins épais de sable ou de grès sans coquilles; ils renferment tous les mêmes espèces de coquilles, notamment des cérithes et le *Melania hordeacea* qui semble les carac-

tériser, et qui se trouve à Pierrelaye et à Ézanville en quantité prodigieuse, ils sont tous immédiatement recouverts par le terrain d'eau douce dont les coquilles se sont quelquefois mêlées avec celles de ces grès, comme on le voit à Beauchamp près de Pierrelaye.

Les collines de Montmartre, de Belleville, de Sanois, de Grisy, de Cormeilles, etc., sont surmontées de grès marins. Nous avons fait connoître ces grès et les espèces principales de coquilles qu'ils renferment, en décrivant ces collines : nous nous contenterons de faire observer de nouveau que ces grès coquilliers sont immédiatement appliqués sur un banc très-puissant de sable argilo-ferrugineux sans coquilles, et que tous, à l'exception de celui de Montmartre, sont immédiatement recouverts par le terrain d'eau douce, qui est composé dans ces lieux, non pas de calcaire, mais de silex et de meulière.

Il paroît qu'on retrouve cette même formation marine supérieure près d'Étampes. M. de Tristan l'y indique dans un Mémoire qu'il a adressé à la Société philomatique. Elle recouvre ici les grès qui sont situés sur le calcaire siliceux, et elle est entièrement ou presque entièrement calcaire.

Cette formation ne consistant quelquefois qu'en une couche très-mince de coquilles marines entre des bancs puissans de grès sans coquilles et de terrain d'eau douce, il est probable qu'elle a souvent échappé à nos recherches et à celles des naturalistes qui ont étudié la structure du sol des environs de Paris. Il est à présumer qu'on la retrouvera dans beaucoup d'autres lieux quand on la

recherchera exprès et avec attention. Il est possible qu'on en trouve quelques traces sur les grès même des environs de Fontainebleau, entre ces grès et le puissant terrain d'eau douce qui les recouvre dans quelques points.

Nous ne croyons pas que cette dernière couche de coquilles marines indique une troisième ni une quatrième mer; nous n'aurions aucune raison de tirer de nos observations une conséquence aussi hypothétique. Les faits que nous avons exposés nous forcent d'admettre, 1°. qu'il y a eu deux grandes formations marines séparées par une formation d'eau douce; 2°. que dans chacune de ces grandes formations marines il y a eu des époques de dépôts bien distinctes et caractérisées, premièrement par des couches renfermant des corps marins très-différens de ceux qui sont renfermés dans les couches supérieures et inférieures; secondement par des couches très-puissantes, soit argileuses, soit marneuses, soit sablonneuses, qui ne renferment aucun fossile, ni marin, ni fluviatile, ni terrestre.

NEUVIÈME FORMATION.

Les meulières sans coquilles.

Cette pierre se trouve en petite quantité dans beaucoup d'endroits, au-dessus du sable et du grès sans coquilles; mais elle n'est abondante et remarquable que dans cinq à six points des environs de Paris (1). Les principaux sont :

(1) Il y a bien ailleurs des pierres qu'on nomme quelquefois *meulières*,

1°.

1°. Le plateau de Meudon dans presque toutes ses parties. La meulière y est en bancs minces et interrompus, et n'est exploitée que pour les constructions.

2°. La forêt des Alluets et toute la partie du plateau de la forêt de Marly qui avoisine les Alluets. La meulière y est plus épaisse qu'à Meudon, et on l'a autrefois exploitée pour en faire des meules.

3°. Le cap occidental du plateau de Trapes, et l'appendice de ce plateau qui porte le village de Laqueue. Les meulières y sont en petits fragmens.

4°. Sur le même plateau, mais plus au sud, au-delà de Chevreuse et près de Limours, se trouve l'exploitation de pierres à meules du village des Molières qui en a pris son nom. Après avoir traversé environ 2 mètres de terre blanche, on trouve deux à trois bancs de meulières situés au milieu d'un sable argileux et ferrugineux : les bancs supérieurs sont composés de meulières en fragmens ; l'inférieur seul peut être exploité en meules : il repose sur du sable ou sur un lit de marne blanche (1).

5°. Enfin la fameuse exploitation qui a lieu sur le plateau qui règne de la Ferté-sous-Jouarre jusque près

---

mais elles n'appartiennent pas à la formation dont il est ici question : ce sont ou des meulières d'eau douce ou des parties presque entièrement siliceuses de calcaire siliceux. Quand on a acquis un peu d'habitude, il n'est pas nécessaire de voir ces pierres en place pour les distinguer de la meulière sans coquille.

(1) *Description des carrières de pierres à meule qui existent dans la commune des Molières*, par M. Coquebert-Montbret. *Journ. des Mines*, n° 22, p. 25.

de Montmirail. C'est dans ce lieu que le banc de meulière est le plus étendu, le plus puissant et le plus propre à fournir de grandes et bonnes meules. On pense bien que nous avons visité ce canton avec soin; aussi la description que nous allons en donner a-t-elle été faite sur les lieux.

C'est près de la Ferté, et sur la partie la plus élevée du plateau, sur celle qui porte Tarteret, que se fait la plus forte exploitation de meulières, et c'est de cet endroit qu'on tire les plus belles meules.

Le dessous du plateau est, comme nous l'avons dit, de calcaire marin; au-dessus, mais sur les bords et du côté de la marne seulement, se trouvent des marnes gypseuses et des bancs de gypse; le milieu du plateau est composé d'un banc de sable ferrugineux et argileux qui a dans quelques parties près de 20 mètres de puissance.

C'est dans cet amas de sable qu'on trouve les belles meulières. En le perçant de haut en bas, on traverse d'abord une couche de sable pur qui a quelquefois 12 à 15 mètres d'épaisseur; la présence des meulières est annoncée par un lit mince d'argile ferrugineuse qui est remplie de petits fragmens de meulières; on le nomme *pipois*. Vient ensuite une couche épaisse de 4 à 5 décimètres, composée de fragmens plus gros de meulière, puis le banc de meulière lui-même, dont l'épaisseur varie entre 3 et 5 mètres. Ce banc, dont la surface est très-inégale, donne quelquefois, mais rarement, trois épaisseurs de meules. Quoique étendu sous presque tout le plateau, on ne le trouve pas toujours avec les qualités

qui permettent de l'exploiter, et pour le découvrir on sonde au hasard. Il est quelquefois divisé par des fentes verticales qui permettent de prendre les meules dans le sens vertical, et on a remarqué que les meules qui avoient été extraites de cette manière faisoient plus d'ouvrage que les autres.

Les carrières à meules sont exploitées à ciel ouvert; le terrain meuble qui recouvre ces pierres ne permet pas de les extraire autrement, malgré les frais énormes de déblaiement qu'entraîne ce genre d'extraction. Les eaux, assez abondantes, sont enlevées au moyen de seaux attachés à de longues bascules à contrepoids : des enfans montent, par ce moyen simple, les seaux remplis d'eau d'étage en étage.

Lorsqu'on est arrivé au banc de meulière, on le frappe avec le marteau : si la pierre est sonore, elle est bonne et fait espérer de grandes meules; si elle est *sourde*, c'est un signe qu'elle se divisera dans l'extraction. On taille alors dans la masse un cylindre qui, selon sa hauteur, doit donner une ou deux meules, mais rarement trois, et jamais plus; on trace sur la circonférence de ce cylindre une rainure de 9 à 12 centimètres de profondeur, qui détermine la hauteur et la séparation de la première meule, et on y fait entrer deux rangées de calles de bois; on place entre ces calles des coins de fer qu'on chasse avec précaution et égalité dans toute la circonférence de la meule, pour la fendre également et pour la séparer de la masse; on prête l'oreille pour juger par le son si les fissures font des progrès égaux,

Les morceaux de meules sont taillés en parallélipipèdes et sont nommés *carreaux*. On réunit ces *carreaux* au moyen de cercles de fer, et on en fait d'assez grandes meules. Ces pièces sont principalement vendues pour l'Angleterre et l'Amérique.

Les pores de la meulière portent chez les fabricans le nom de *frasier*, et le silex plein celui de *défense*. Il faut, pour qu'une meule soit bonne, que ces deux parties se montrent dans une proportion convenable.

Les meules à *frasier* rouge et abondant font plus d'ouvrage que les autres; mais elles ne moulent pas si blanc et sont peu estimées.

Les meules d'un blanc-bleuâtre, à *frasier* abondant, mais petit et également disséminé, sont les plus estimées. Les meules de cette qualité, ayant 2 mètres de diamètre, se vendent jusqu'à 1200 francs pièce.

Les trous et fissures de toutes les meules sont bouchées en plâtre *pour la vente;* les meules sont bordées de cerceaux de bois, pour qu'on ne les écorne pas dans le transport.

Cette exploitation de meulière remonte très-haut, et il y a des titres de plus de quatre cents ans qui en constatent dès-lors l'existence; mais on ne faisoit à cette époque que des petites meules, et ce genre d'exploitation s'appeloit *mahonner*. On a vu par ce que nous avons dit plus haut que les meules extraites des environs de la Ferté-sous-Jouarre sont recherchées dans les pays les plus éloignés.

6°. Nous ne pouvons passer sous silence les carrières

à meules d'Houlbec près Pacy-sur-Eure, quoique ce lieu soit situé hors des limites que nous nous sommes fixées; elles ont été décrites avec détail par Guettard (1). On voit par cette description qu'elles sont recouvertes de sable argileux et ferrugineux, de 5 à 6 mètres de cailloux roulés, que le banc exploité est précédé d'un lit de meulière en fragment appelé *rochard*, et enfin que ce banc, qui a 2 mètres d'épaisseur, repose sur un lit de glaise; par conséquent que toutes les circonstances de gisement sont les mêmes dans ce lieu qu'aux environs de Paris et qu'à la Ferté, qui en est éloigné de plus de trente lieues.

DIXIÈME FORMATION.

Terrain d'eau douce supérieur.

Le terrain d'eau douce, cette formation à peine connue il y a cinq ans, est si abondamment répandu aux environs de Paris, à plus de douze et vingt lieues à la ronde, que nous pourrions difficilement, même au moyen de la carte, être sûrs d'indiquer tous les endroits où il se trouve. Il recouvre les plaines basses comme les plateaux élevés; on le voit au sommet des buttes et sur la crête des collines. Nous n'indiquerons ici que les lieux où il nous a offert quelques faits intéressans et ceux qui font connoître quelques-uns de ses rapports avec les autres terrains.

(1) *Mém. de l'Acad. des sciences de Paris*, 1758.

Mais comme il est difficile de distinguer parmi les terrains d'eau douce superficiels celui qui est en même temps supérieur ou de seconde formation, de celui qui est de première formation, mais seulement superficiel; que cette distinction ne peut se faire avec certitude que dans les cas où les deux formations sont placées immédiatement l'une au-dessus de l'autre, comme on le voit dans la colline de Belleville, nous décrirons d'abord les terrains d'eau douce qui appartiennent évidemment à la seconde formation; nous décrirons ensuite, mais séparément, les terrains d'eau douce superficiels dont l'époque de formation nous a paru incertaine.

Presque toutes les collines gypseuses qu'on voit au nord de Paris sont terminées à leur sommet par des plateaux plus ou moins étendus, composés de terrain d'eau douce siliceux. Ce sont des meulières pétries de limnées, de planorbes, de gyrogonites et de coquilles turbinées que l'un de nous a décrites sous le nom de *potamides* (1).

Les sommets des collines de Dammartin, de Carnetin, Chelles et Villemonble, de Montmorency, de Marines et Grisy, de Belleville, de Sanois et de Triel à Meulan, appartiennent à cette formation; le plateau de la forêt de Montmorency, surtout du côté de Saint-Prix et de Saint-Leu, présente des bancs puissans de meulières d'eau douce remplies d'une innombrable quantité de co-

(1) Alex. Brongniart, *Annales du Muséum d'Hist. natur.* t. XV, p. 38, pl. I, fig. 3.

quilles qui appartiennent toutes aux espèces que nous venons de nommer (1).

Ces meulières sont toujours les plus superficielles; elles ne sont recouvertes que par la terre végétale et un peu de sable argilo-ferrugineux; elles sont disposées en bancs interrompus, mais réguliers et horizontaux, lorsqu'on ne se contente pas de les observer sur les pentes rapides des vallons. Dans ces derniers lieux elles se présentent en fragmens bouleversés; mais elles sont toujours dans un sable rougeâtre argilo-ferrugineux qui recouvre le banc puissant de sable sans coquilles.

Ce terrain est encore plus étendu sur la rive gauche de la Seine.

La partie superficielle de ce plateau élevé et immense qui s'étend du nord au sud, depuis les Alluets jusqu'aux rives de la Loire, et de l'est à l'ouest, depuis Meudon et les rives du Loing jusqu'à Épernon et Chartres, appartient à la formation d'eau douce supérieure; toutes les plaines de la Beauce en font partie. Le terrain siliceux y est plus rare que le terrain calcaire : le premier ne se montre en masse qu'aux sommets des collines ou des buttes de sable qui dominent le plateau général, telles que celles de Saint-Cyr près Versailles, de Meudon, de Clamart, de Palaiseau, de Milon, etc., ou bien en rognons dans le terrain calcaire; celui-ci, au contraire, forme la partie dominante des plaines de

(1) Brugnière avoit déjà dit que ces meulières ne renfermoient que des coquilles d'eau douce.

la Beauce, et dans quelques endroits il joint à une épaisseur considérable une assez grande pureté. La plaine de Trapes, au sud-ouest de Versailles, est composée d'un calcaire friable qui renferme des noyaux siliceux, et qui est pétri de limnées, de planorbes et de gyrogonites. Celui des environs d'Étampes et de Saint-Arnoud a une épaisseur considérable. On l'a pris quelquefois pour de la craie, et on l'a décrit comme tel; mais quand on examine avec attention les carrières de pierre à chaux situées près de ces lieux, on voit qu'on y exploite un calcaire criblé de coquilles d'eau douce, et renfermant des blocs énormes de silex. Les carrières de Menger, qui dépendent de Saint-Arnoud, offrent des bancs qui ont jusqu'à seize mètres d'épaisseur; il paroît même qu'en allant vers le sud, ce terrain augmente considérablement d'épaisseur, comme l'indiquent les descriptions que MM. Bigot de Morogue et Tristan ont données du calcaire d'eau douce des environs d'Orléans, et les renseignemens que nous avons reçus sur celui de Châteaulandon (1).

(1) Les carrières de Châteaulandon sont situées dans le département de Seine-et-Marne, à une demi-lieue de Châteaulandon et à vingt lieues au sud de Paris (par conséquent hors des limites de notre carte); elles sont éloignées d'environ une lieue du canal de Loing. Cette pierre, qui est d'un gris cendré jaunâtre, quoique remplie de cavités irrégulières tubuleuses et siliceuses, est plus dure, plus pesante et plus compacte que le plus beau liais (calcaire marin très-solide) des environs de Paris; sa cassure est concoïde. Laissée pendant trente-six heures dans l'eau, elle ne s'imbibe que de deux parties d'eau, tandis que la roche la plus dure de Châtillon (calcaire marin

En reprenant cet immense plateau par l'est, pour en étudier les points les plus intéressans, nous examinerons d'abord les environs de Melun et de Fontainebleau.

Les collines qui bordent la rive droite de la Seine, à l'ouest de Melun, sont composées, en partant de la surface, et immédiatement au-dessous de la terre végétale :

1°. D'un calcaire blanc, tendre, ne renfermant pas d'assises distinctes, mais disposées en fragmens d'inégales grosseurs. Ce calcaire est traversé par une multitude de petits canaux souvent jaunâtres; il renferme un grand nombre de limnées, de planorbes, etc.

2°. D'un calcaire très-dur, jaunâtre, susceptible de poli, plus compacte que le premier, présentant, non pas des tubulures, mais des cavités irrégulières remplies de cristaux de calcaire spathique. Il renferme moins de coquilles que le précédent.

3°. De silex blond ou brun, en tables plus ou moins épaisses, rempli de cavités.

4°. De masses dures calcareo-siliceuses, qui forment comme la transition minéralogique du silex au calcaire dur. On n'a pas vu de coquilles dans ces deux dernières pierres.

à cérite) en absorbe quatre parties. L'église de Châteaulandon, qui est fort ancienne, en est construite; le pont de Nemours en a été bâti, et on l'emploie à la construction de l'arc de triomphe de l'Étoile. Elle se débite à la scie, et est susceptible de recevoir le poli du marbre. On y voit quelques coquilles d'eau douce, mais elles y sont très-rares. (Nous tenons la plupart de ces renseignemens de M. Rondelet.)

Ces différentes pierres ne suivent aucun ordre dans leur position respective; elles sont comme liées par le calcaire blanc friable qui contient le plus de coquilles. Elles présentent une masse visible de six à sept mètres d'épaisseur.

5°. Au-dessous de ce terrain d'eau douce on voit une couche de marne argileuse verdâtre, sans coquilles, qui a environ deux mètres de puissance.

6°. Il paroît, d'après les blocs qu'on trouve roulés au pied de la colline, que la base de cette colline, comme de toutes celles de ce canton, est de calcaire siliceux (1).

La forêt de Fontainebleau et l'intervalle compris entre cette forêt et Malsherbe offrent de nombreux plateaux de calcaire d'eau douce d'une épaisseur et d'une consistance assez considérables pour être dans beaucoup de points exploités comme pierre à chaux. Nous allons les décrire avec détails; et comme les collines qui les portent se dirigent généralement du sud-est au nord-ouest, nous irons du nord au sud, afin de les couper.

En arrivant à Fontainebleau par la route de Melun, on commence à monter par une pente douce sur le plateau de sable à Rochette. Tout nous a paru être de grès jusqu'au mont Tussy, à l'exception du bas qui est de calcaire siliceux. C'est ici qu'on peut voir le chapeau de calcaire d'eau douce qui recouvre le grès et qui constitue le bord septentrional de la colline sur laquelle on

---

(1) Nous avons vu nous-mêmes ce canton, mais nous devons à M. Prevost cette description détaillée.

monte. Cette colline, applatie à son sommet, s'étend de l'est à l'ouest, et comprend les lieux nommés la Bihourdière, la Croix-d'Augas, le mont Tussy, le grand mont Chauvet, Belle-Croix et le bord septentrional du mont Saint-Père.

Du grand mont Chauvet à Belle-Croix, en suivant les hauteurs de la Solle, on ne voit plus de calcaire d'eau douce; mais le plateau des monts de Fais est recouvert de ce calcaire, notamment vers la Table-du-Grand-Maître.

Belle-Croix est l'espèce d'isthme qui réunit les monts de Fais et le mont Saint-Père. Le calcaire d'eau douce de Belle-Croix repose sur une marne calcaire jaunâtre. Nous croyons pouvoir attribuer aux infiltrations calcaires de ce sol supérieur les cristaux de grès calcaire qu'on trouve si abondamment dans les carrières de ce lieu.

Dans la partie du plateau du mont Saint-Père qui avoisine la Croix-du-grand-Veneur, les grès sont presque superficiels; on trouve seulement quelques fragmens de calcaire d'eau douce épars.

A la descente du plateau de la Bihourdière par la Croix-d'Augas et le Calcaire, du côté de Fontainebleau, il n'y a plus de calcaire. Le grès, dont les bancs semblent se relever vers le sud, règne jusqu'au sommet.

Le mont Pierreux et le mont Fessas, qui sont des caps très-avancés de ce même plateau, et dirigés vers l'est, la butte de Macherin et la butte dite *de Fontainebleau*, qui sont deux autres caps de ce plateau dirigés vers

l'ouest, sont recouverts de calcaire d'eau douce, criblés de limnées et de planorbes. Au mont Perreux ce calcaire a quatre mètres d'épaisseur, et est exploité comme pierre à chaux.

Tout-à-fait à l'est de Fontainebleau, les buttes isolées du Monceau et du Mont-Andart sont couronnées de calcaire d'eau douce.

Vers le sud de Fontainebleau viennent d'abord quelques buttes et collines peu étendues. Celles qui portent du calcaire d'eau douce sont toujours applaties à leurs sommets, et sans aucun bloc de grès : telles sont le Mail-d'Henri-IV, le mont Merle, le mont Morillon, le mont Enflammé, le cap dit *la Queue-de-la-Vache* et la butte dite de *Bois-Rond.*

Viennent ensuite, en reprenant à l'est, la Malle-Montagne dont le bord méridional seulement est en calcaire, le Haut-Mont, le Ventre-Blanc, le plateau des Trembleurs, puis le grand plateau qui porte à l'est la Garde-de-la-Croix de Saint-Herem, et à l'ouest la Garde-de-la-Croix de Souvray. Dans la première partie nous avons vu le calcaire d'eau douce au petit et au grand Bourbon, au rocher Fourceau, au rocher aux Fées, aux forts de Marlotte, et surtout à la descente Bouron. On reconnoît ici quatre bancs de calcaire d'eau douce formant une épaisseur d'environ cinq mètres, et reposant sur le grès.

Vers la Croix de Souvray, ce terrain, probablement moins épais, est aussi beaucoup moins visible ; on ne peut juger de sa présence que par les fragmens que

l'on en trouve épars de tous côtés jusqu'à Ury. Mais plus loin au sud-ouest et hors de la forêt, à la Chapelle-Buteaux, il se présente en bancs assez épais pour être exploités, et à la descente de Merlanval il renferme d'abondantes infiltrations de silice.

Nous devons faire remarquer que ces collines longues et étroites qu'on nomme ordinairement *rochers*, tels que les rochers du Cuvier-Châtillon, d'Apremont, de Bouligny, du mont Morillon, etc. sont uniquement composées de grès jusqu'à leur sommet. Les fragmens de leurs bancs déchaussés sont tombés les uns sur les autres, et leur ont donné cet aspect de ruine et d'éboulement qu'elles présentent.

Les plateaux qu'on appelle plus particulièrement *monts*, sont au contraire très-étendus; leurs bords sinueux offrent de nombreux caps; leur sommet est plat et a conservé presque partout un chapeau calcaire sur lequel s'est établi la belle végétation qui les couvre. Les *rochers* ne portent guère que des bouleaux et des genévriers, et plus souvent ils ne portent aucun arbre; les *monts* ou *plateaux* à surface calcaire sont au contraire couverts de beaux chênes, de hêtres, de charmes, etc. (1).

A mesure qu'on s'avance vers le nord-ouest, le terrain

---

(1) Il n'est pas nécessaire d'aller sur les lieux pour prendre une juste idée de ces différences, l'inspection d'une bonne carte suffit. La partie de la nôtre qui porte la forêt de Fontainebleau est sur une trop petite échelle pour qu'on puisse faire ces observations; mais on peut consulter la carte de la forêt de Fontainebleau, publiée en 1778, sans nom d'auteur, et gravée par Guillaume de la Haye.

d'eau douce semble diminuer d'épaisseur, et les masses de grès devenir plus puissantes et plus élevées. Il est cependant encore très-épais, comme nous l'avons dit, à Étampes, à Saint-Arnould, etc.; mais il devient plus mince près de Rambouillet, et il semble réduit à une couche d'un mètre d'épaisseur aux environs d'Épernon : nous ne le connoissons même plus, ni au-delà de cette ville, ni au-delà d'une ligne qui iroit d'Épernon à Mantes, en passant par Houdan.

Près de Rambouillet, au midi du parc, et vers le sommet du coteau d'où l'on descend à la porte dite de *Mocque-Souris*, des coupes faites dans ce coteau permettent d'en étudier la composition. On y reconnoît vers la surface du sol le terrain d'eau douce entièrement calcaire, et ayant environ deux mètres d'épaisseur; il est composé de bancs minces, tantôt durs, tantôt friables, renfermant une très-grande quantité de coquilles d'eau douce. Il pose sur un sable sans coquilles qui représente la formation du grès; mais entre ce calcaire et le sable on voit un petit lit de glaise feuilletée, d'un vert foncé mêlé de jaune, et recouvert de marne friable d'un jaune isabelle. On trouve dans cette marne une petite couche régulière et horizontale entièrement composée de coquilles turriculées semblables aux cérites, et que nous avons désignées sous le nom de *potamides*. Elles y sont entières, elles ont conservé leur couleur; mais elles sont tellement friables qu'il est impossible d'en obtenir une entière.

De Rambouillet à Épernon on ne perd presque pas

de vue le terrain d'eau douce ; il est toujours au-dessus des grès ou des sables qui les représentent, et de nature calcaire, jusqu'après le parc de Voisin.

A Épernon il change de nature. Les cinq caps de collines qui entourent Épernon sont en grès depuis leur base jusqu'à leur sommet. Les plus remarquables de ces caps par les masses énormes de grès qui les composent, sont celui de la Madeleine au nord, et celui des Marmousets à l'est. Ce dernier est l'extrémité de la côte très-escarpée qui borde au nord le joli petit vallon de Droué ; son bord méridional est plus bas et arrondi.

Ce coteau septentrional est composé, de sa base presque jusqu'à son sommet, de bancs énormes d'un grès dur, homogène, gris, et sans aucune coquille ; ces bancs sont séparés par du sable, souvent brisés et comme déchaussés.

Le sommet du plateau est formé par le terrain d'eau douce entièrement siliceux. Il offre un banc horizontal très-régulier d'environ un mètre d'épaisseur. Ce banc siliceux, souvent très-dense, présente quatre variétés principales :

1°. Un silex gris, translucide, ayant la cassure terne, cireuse et même cornée ;

2°. Un silex fauve, très-translucide, très-facile à casser, ayant la cassure conchoïde et lisse ;

3°. Un silex jaspoïde d'un blanc opaque ou d'un blanc de cire, à cassure cireuse et écailleuse, et très-difficile à casser ;

4°. Un silex jaspoïde opaque, un peu celluleux, ayant enfin tous les caractères d'une meulière compacte.

Quoique ces variétés semblent se trouver partout indistinctement, il paroît cependant que la seconde est plus commune vers l'extrémité du cap qu'ailleurs.

Toutes renferment en plus ou moins grandes quantités des coquilles d'eau douce ; certaines parties du banc en sont criblées, et quelquefois on fait vingt mètres et plus sans pouvoir en découvrir une seule. Ces coquilles sont des planorbes arrondis, des planorbes cornet, des limnées œuf, des limnées cornés, des planorbes de Lamarck, quelques hélices de Morogues et des gyrogonites.

On ne voit bien ces bancs à leur place que lorsqu'on a tout-à-fait atteint le sommet du plateau. Si on recherche ces pierres sur le bord de l'escarpement, on parvient bien à les trouver ; mais elles sont en fragmens épars dans la terre végétale et dans le sable rougeâtre qui est immédiatement sous elles, qui recouvre le grès et qui pénètre même dans les fentes de ses premiers bancs.

Tels sont les terrains qui nous paroissent appartenir à la seconde formation d'eau douce. L'époque de formation des terrains suivans n'étant pas aussi clairement déterminée, nous avons cru devoir les placer séparément dans ces descriptions spéciales, sauf à indiquer plus bas la formation à laquelle nous croyons pouvoir les rapporter.

Nous remarquerons d'abord au nord de Paris cette immense plaine de terrain d'eau douce qui s'étend depuis Claye à l'est jusqu'à Frepillon à l'ouest, et du nord au sud de Louvres et Maflier, jusque dans les murs de Paris.

Paris. Cette plaine, dont la partie la plus basse et la plus connue porte le nom de *plaine Saint-Denis*, montre sur ses bords et dans son milieu les collines et buttes de gypse de Chelle, Mesnil-Montant, Montmartre, Sanois, Montmorency, etc. Ces collines ne lui appartiennent pas et n'altèrent pas son niveau qu'on trouve à peu près le même dans les intervalles qui les séparent et qui portent très-improprement le nom de *vallées*. Elle a donc peu d'inégalités qui lui soient propres; mais elle est généralement assez élevée, et presque au niveau des dernières assises du calcaire grossier : car on voit au moyen de la carte qu'elle est bordée partout de calcaire marin, excepté au sud-est où elle est limitée par le calcaire siliceux. Or, nous ferons observer qu'il faut toujours monter pour y arriver de quelque point qu'on parte, soit des bords de la Seine, soit des rives de l'Oise ou de la Marne. Si l'une de ces rivières a entamé le plateau calcaire, comme à Charenton, à Herblay, à Méry, etc., on gravit rapidement sur le sommet du plateau, et on se trouve, en descendant très-peu, sur la plaine de terrain d'eau douce. Si la rivière a entamé le terrain d'eau douce lui-même, comme à Saint-Ouen, il faut encore monter pour atteindre le niveau de la plaine.

Il paroît que, dans plusieurs parties de cette plaine le terrain d'eau douce a une épaisseur considérable, et qu'il recouvre immédiatement le calcaire marin qui, dans ce cas, paroît être réduit à très-peu d'épaisseur; mais nous n'avons pas toujours pu reconnoître ce qu'il y a au-dessous.

Lorsqu'on perce cette plaine de terrain d'eau douce à peu de distance du calcaire marin, on retrouve la formation marine, mais à l'état de grès marin, comme à Pierrelaye, à Ézainville.

Les plaines déjà élevées qui sont, l'une au sud-ouest de la colline de Montmorency, et l'autre au nord-est de cette même colline, ont absolument la même structure. Nous l'avons fait connoître à l'article du *Calcaire marin*, § V, p. 88 et 90.

Au-delà de Moiselles, sur la route de Beaumont-sur-Oise, le calcaire d'eau douce devient bien plus épais : on y a creusé des marnières qui ont plus de deux mètres de profondeur, dans lesquelles on remarque d'abord des lits minces, tantôt tendres et feuilletés, tantôt durs, et composés de rognons déprimés et horizontaux : les supérieurs renferment une quantité immense de *bulimes nains;* les autres ne font voir presque aucune coquille. On trouve au milieu d'eux un lit interrompu, mais horizontal, de silex grisâtre qui se fond dans la marne. La partie inférieure de cette couche est composée d'assises plus épaisses, plus dures, se désaggrégeant à l'air avec la plus grande facilité, et ne faisant voir aucune coquille.

Le terrain d'eau douce de cette plaine est généralement composé de marne calcaire assez dure, comme à Mesnil-Aubry, à Châtenay, à Beauchamp, etc. ; on y trouve aussi des silex compactes, homogènes et bruns, comme à Fontenay, à la Patte-d'Oye, près Gonesse; des silex résinites comme à Saint-Ouen ; des silex ménilites

enveloppant des limnées blancs, comme à Saint-Ouen et dans le canal de l'Ourcq au-delà de Sevran.

La berge de la rive droite de la Seine, de Saint-Ouen à Saint-Denis, présente une coupure de ce terrain qui peut faire connoître les différens lits qui le composent, et donner ainsi une idée générale de la structure de la plaine Saint-Denis.

Pour prendre ce terrain dans sa plus grande épaisseur, il faut l'examiner près de Saint-Denis, à la petite butte sur laquelle est placé le moulin de la Briffe; on peut alors y reconnoître la succession suivante dans les couches principales et essentielles, en allant de haut en bas :

1°. Vingt à vingt-quatre lits de marne argileuse, calcaire, sableuse, gypseuse, renfermant des concrétions sphéroïdales, calcareo-gypseuses, assez compactes, et composées de lames quelquefois concentriques et de cristaux lenticulaires informes réunis en rose.

2°. Au-dessous de ces marnes se trouvent des lits alternatifs de calcaire d'eau douce compacte, de marnes blanches friables renfermant des coquilles d'eau douce désignées ci-dessous (1), des silex ménilites enveloppant ces mêmes coquilles, des silex blonds transparens renfermant des lames gypseuses et enveloppés souvent de silex nectique.

Ces lits alternent, et les mêmes se représentent plu-

(1) *Bulimus atomus.*
— *pusillus.*
Cyclostoma mumia.
Limneus longiscatus.

sieurs fois. Enfin nous avons trouvé dans les marnes blanches qui renferment les coquilles d'eau douce, des os fossiles qui nous ont paru provenir du *palæotherium minus*.

Une partie du canal de l'Ourcq, près de Sevran, est creusée dans un terrain analogue à celui-ci. Après avoir percé le limon d'attérissement, on arrive au terrain d'eau douce composé absolument des mêmes matières que celles que nous venons de décrire, et surtout de ces silex ménilites d'un gris roussâtre qui enveloppent des limnées très-gros et des planorbes. Nous ne connoissons dans cette plaine aucune véritable meulière d'eau douce.

Si nous passons maintenant sur la rive gauche de la Seine, et tout-à-fait à l'ouest de Paris, nous trouvons à douze lieues de cette ville, depuis Adainville jusqu'à Houdan, le terrain d'eau douce. C'est un calcaire dur fragmentaire qui fait évidemment partie de celui que nous avons vu à Maulette tout près d'Houdan, et dont nous avons décrit la structure et les rapports avec le calcaire marin, au § XII de la troisième formation, page 134.

De Houdan à Mantes nous n'avons point vu d'indice du terrain d'eau douce avant Mantes-la-Ville (1); mais sur le sommet de la colline de calcaire marin qui est à

---

(1) Quoique nous ayons fait deux fois ce chemin, nous ne prétendons pas qu'une recherche plus scrupuleuse ne puisse en faire trouver sur quelques plateaux.

l'est de ce village, on voit une couche de sept à huit décimètres d'épaisseur, qui consiste en un calcaire jaunâtre, compacte, homogène, dur, mais très-facile à casser, et ayant une cassure largement conchoïde. Les ouvriers l'appellent *clicart;* il ne peut pas se tailler, et cette particularité en restreint beaucoup l'usage. Il recouvre immédiatement le calcaire marin, et renferme principalement et en grande abondance le *cyclostoma mumia*, avec quelques coquilles turbinées, ayant un grand nombre de tours de spires, et qui pourroient être ou des potamides ou des *cerithium lapidum*. Elles sont trop engagées dans la pierre, et trop peu caractérisées, pour qu'on puisse en déterminer l'espèce et même le genre avec certitude.

En revenant vers Paris, on peut observer à l'ouest de Versailles, entre Neauphle et Beyne, un gisement assez remarquable du calcaire d'eau douce. La base de la colline qui porte le bois de Sainte-Apolline, Neauphle-le-Château et Villiers, est gypseuse. Les huîtres qu'on trouve abondamment à l'entrée du parc de Pontchartrain, au moulin de Pontel, etc. caractérisent cette formation. En suivant la vallée qui va de Neauphle-le-Vieux à Beyne, on monte, précisément à l'est du hameau de Crissay, sur un petit coteau qui est composé de calcaire d'eau douce très-dur. Ce calcaire renferme une quantité innombrable de coquilles d'eau douce dont les principales sont le *limneus longiscatus*, le *cyclostoma mumia*, et une paludine que nous avons trouvée fossile pour la première fois dans ce lieu, qui a quelque ressemblance avec

le *paludina vivipara*, mais qui ressemble encore plus au *paludina unicolor* rapporté de l'Orient par M. Olivier.

Si on monte sur les sommets des coteaux élevés qui bordent ce vallon à l'est et en face de Beyne, on retrouve les silex et meulières de la formation d'eau douce supérieure.

Nous croyons devoir revenir sur les caractères qui peuvent servir à distinguer les deux formations d'eau douce lorsqu'on les trouve isolées, présenter de nouveau le tableau de ces caractères, récapituler les principaux lieux où nous avons pu étudier et décrire ces terrains, et essayer de rapporter ces différens lieux à chacune des formations d'eau douce que nous avons établies. Nous répétons que nous ne présentons ces caractères et la division qui en résulte qu'avec circonspection.

Les terrains d'eau douce inférieurs ou de première formation, paroissent être de la même époque que le gypse des environs de Paris. Ils sont donc, ou dans le gypse même, ou immédiatement sous le gypse ou sur le gypse, ou enfin à la place que devroit occuper le gypse quand celui-ci manque; ils sont placés immédiatement sur le calcaire marin ou sur le grès marin qui paroît faire partie de ce calcaire et en former les assises supérieures.

Ce premier terrain d'eau douce est ordinairement calcaire; il renferme des rognons siliceux, mais il n'est jamais complettement siliceux. Il présente pour coquilles caractéristiques le *cyclostoma mumia*, le *limneus lon-*

giscatus et des paludines; on n'y trouve ni potamides ni hélices.

Les terrains suivans possédant tous ces caractères, on pourra les rapporter à la première formation d'eau douce.

Au nord de la Seine :

La plaine Saint-Denis, et par conséquent Saint-Ouen, Beauchamp, Ezainville, Gonesse, le Mesnil-Aubry, etc.
Moisselles, jusqu'à la descente de Maflier.
La Ferté-sous-Jouare.
Nanteuil-le-Haudouin.

Au midi de la Seine :

Les couches qui recouvrent le calcaire à Grignon et aux environs.
Maulette et les environs.
Crissay.
Mantes-la-Ville.

Le terrain d'eau douce supérieur, ou de seconde formation, est le plus nouveau et le dernier des terrains. Il est donc ordinairement situé sur les plateaux les plus élevés au-dessus des grès sans coquilles, du sable argilo-ferrugineux et des meulières sans coquilles. Le gypse ou les marnes qui le représentent, quelque minces qu'elles soient, sont entre ce terrain d'eau douce et le calcaire marin inférieur. Il n'est donc jamais immédiatement placé sur ce calcaire, quoiqu'il puisse toucher de très-près la seconde formation marine, celle qui est supérieure au gypse, quand les sables sans coquilles, etc. qui la recouvrent ordinairement n'existent pas, ou quand

ils sont très-minces. Il est quelquefois entièrement calcaire et fort épais; mais il est aussi quelquefois entièrement siliceux. Ses coquilles caractéristiques sont les potamides, les hélices, les limnées cornés; nous n'y avons jamais vu de *cyclostoma mumia*.

Ce terrain étant superficiel, doit paroître bien plus commun que le précédent. Les lieux où il se montre sont:

Sur la rive droite ou septentrionale de la Seine,

Le sommet de la colline de Belleville et de celles qui s'étendent jusqu'à Carnetin.

Dammartin.

Tout le plateau de la forêt de Montmorency.

Tout celui de la colline de Sanois.

Grisy.

Le sommet de la colline qui va de Triel à Meulan.

Entre Seine et Marne :

Le sommet de la colline de Champigny.

Les hauteurs de Quincy près Meaux.

Les sommets des collines qui entourent Melun.

Sur la rive gauche ou méridionale de la Seine :

Tous les plateaux calcaires de la forêt de Fontainebleau.

Tous les environs d'Orléans. Ici le terrain d'eau douce est calcaire, et d'une épaisseur considérable.

Toute la Beauce.

Les hauteurs de Meudon, Clamart, etc.

Palaiseau.

Lonjumeau.

Les sommets des collines qui bordent les vallées de la Bièvre, de l'Yvette, etc.

La plaine de Trappes, etc.

Rambouillet.

Les sommets des collines qui entourent Épernon.

Les sommets des collines qui sont à l'ouest de Thiverval.

Si

Si on se rappelle la description spéciale que nous avons donnée de ces lieux, soit dans cet article, soit dans les articles précédens, on verra qu'ils possèdent tous l'ensemble des caractères que nous venons d'assigner aux terrains d'eau douce de seconde formation.

ONZIÈME FORMATION.

Le limon d'atterrissement.

Le sol d'atterrissement a deux positions différentes aux environs de Paris. Dans la première il se trouve dans les vallées. Tantôt il en remplit le fonds; il est alors ou de sable, ou de limon proprement dit, ou de tourbe : tantôt il forme dans ces mêmes vallées des plaines étendues assez élevées au-dessus du lit actuel des rivières. Ces plaines sont ordinairement composées de cailloux roulés; elles descendent vers le lit des rivières en forme de caps arrondis qui correspondent presque toujours à un sinus à bords escarpés qui forme la rive opposée de la rivière.

Dans la seconde position, et c'est la plus rare, le limon d'atterrissement se trouve dans des plaines éloignées des vallées actuelles.

Nous ne parlerons point ici du limon d'atterrissement que forment encore actuellement nos rivières, mais seulement de celui qui, par sa position, sa nature, la grosseur de ses parties, etc. ne peut avoir été déposé par nos rivières dans leur état actuel, en supposant même les

débordemens les plus grands que l'on connoisse depuis les temps historiques.

Nous allons d'abord décrire le sol d'atterrissement des vallées, en suivant le cours des principales rivières; nous parlerons ensuite de celui des plaines.

La vallée de la Seine nous offre de nombreux exemples de la disposition du sol d'atterrissement en caps avancés, mais bas, et composés de sable ou de cailloux roulés. En remontant cette rivière depuis Meulan, le cap de Chanteloup en face de Poissy, celui qui porte la forêt de Saint-Germain, celui de Chatou qui porte le bois du Vésinet, celui de Gennevillier, celui de Boulogne qui porte le bois de ce nom, et celui de Vaugirard qui forme la plaine de Grenelle, sont tous composés de la même manière, c'est-à-dire d'un plateau calcaire élevé, placé à une certaine distance du lit actuel de la Seine et d'une plaine qui tantôt descend insensiblement de ce plateau vers la rivière, tantôt part du pied escarpé du plateau. Cette plaine est toujours composée de limon brunâtre près de la rivière, de sable fin dans son milieu et de gros sable ou même de cailloux roulés vers le pied du plateau. Cette distribution est constante dans tous les lieux que nous venons de nommer. Ainsi le sol sablonneux et caillouteux de la partie la plus septentrionale de la forêt de Saint-Germain, celui du bois du Vésinet, celui du bois de Boulogne, etc. appartiennent presque totalement à la partie la plus ancienne et la plus élevée de la formation d'atterrissement. L'épaisseur de ce sol est très-variable : elle est de 4 mètres dans la

plaine des Sablons, près la porte Maillot; elle est de plus de 6 mètres dans la plaine de Grenelle, près de Vaugirard. Ce sol renferme quelquefois de gros blocs de grès et de meulières qui y sont épars, et qui, formés ailleurs, y ont été apportés par des forces dont nous ne connoissons plus d'exemples dans nos cantons; car la Seine, dans ses plus grands débordemens, n'est pas capable de faire changer de place un caillou de la grosseur de la tête, et d'ailleurs elle n'atteint jamais la partie élevée de cet ancien sol d'atterrissement. On y trouve aussi quelques morceaux roulés de granite, et d'autres roches primitives. A l'extrémité de ces caps, la rivière formant un arc, serre de très-près le coteau souvent très-escarpé et toujours en pente rapide qui leur est opposé, comme on peut le voir de Meulan à Triel, de Verneuil à Poissy, de Conflans à Sartrouville, de Saint-Germain à Bougival, de Courbevoye à Sèvres, d'Auteuil à Chaillot, etc. etc.

De Paris à Moret, la Seine étant beaucoup moins sinueuse, présente aussi beaucoup moins de ces plaines d'atterrissement, et la seule remarquable est celle qui va de Melun à Dammarie.

Les atterrissemens qu'offrent l'Oise et la Marne suivent absolument les mêmes règles; mais ceux de la Marne sont généralement composés d'un limon plus fin, et nous n'y avons pas remarqué ces cailloux volumineux que nous venons de citer dans les atterrissemens de la Seine.

Le limon d'atterrissement des petites rivières, toujours très-fin, est plus propre à la végétation; aussi ces atter-

rissemens sont-ils souvent marécageux et quelquefois tourbeux. La vallée de la rivière d'Essone est remplie de tourbe qu'on exploite avec beaucoup d'avantage; on en trouve pareillement dans celle de la Bièvre.

C'est dans la partie la plus fine de ces atterrissemens qu'on trouve fréquemment des arbres dont le bois, peu altéré et comme tourbeux, est encore susceptible d'être brûlé.

Quand on y trouve des objets travaillés par les hommes, tels que des bateaux, des bois taillés, c'est toujours dans les parties qui servent encore de rives à la rivière, et jamais dans l'ancien atterrissement.

Le sol d'atterrissement des plaines éloignées et même séparées de nos vallées actuelles, ne se distingue que très-difficilement du terrain d'eau douce, et dans quelques cas il se confond entièrement avec lui. Il paroît plus ancien que celui des vallées, à en juger par la position et par les fossiles qu'il renferme.

Les environs de Sevran, qui géologiquement font partie de la plaine d'eau douce de Saint-Denis, creusés très-profondément pour le passage du canal de l'Ourcq, nous ont permis d'observer avec soin la structure de ce sol.

A quelque distance de Sevran, le canal est creusé dans une marne argileuse jaunâtre renfermant des lits d'argile d'un gris perlé, qui contient des silex ménilites et des masses de marne calcaire compacte. Ces silex présentent deux particularités remarquables : 1°. ils sont disposés en lignes qui forment des zigzags dont les principales directions sont parallèles; 2°. ils sont tous rem-

plis de coquilles d'eau douce des genres limnées et planorbes. Ces coquilles ne sont pas assez bien conservées pour qu'on puisse en déterminer l'espèce.

Plus loin, à environ une lieue de Sevran, on arrive à une éminence de la plaine; on l'appelle *Butte des bois de Saint-Denis*. Elle a été coupée pour le passage du canal, et présente la succession de couches suivante : (pl. 3).

1. Terre meuble et végétale, environ	4	mètres.
2. Couche de sable jaunâtre assez pur, avec des lits de sable argileux dans sa partie supérieure	2	
Dans les lits de sables argileux supérieurs on trouve des limnées et des planorbes très-bien conservés, blancs et à peine fossiles.		
3. Limon d'atterrissement très-noir, mêlé de sable jaune en lits ondulés	6	
4. Lits alternatifs d'argile verte friable, de marne argileuse jaune et de marne argileuse blanche		

Dans la partie que nous décrivons, et dans deux autres parties un peu plus éloignées, mais dont la structure est absolument semblable à celle-ci, les lits d'argile verte et ceux qui l'accompagnent s'enfoncent comme pour former un bassin qui est rempli par le limon noir et sableux. C'est dans la partie inférieure de ce limon qu'ont été trouvés les dents d'éléphans, les têtes de bœufs, d'antilopes et de cerfs d'Irlande que l'un de nous a décrites.

Il ne paroît pas possible d'attribuer cet atterrissement aux eaux qui couloient dans la vallée de la Seine; cette

vallée est beaucoup trop éloignée de ce lieu, et beaucoup trop basse par rapport à lui. Il est probablement beaucoup plus ancien que ceux des vallées, et semble plutôt avoir été déposé au fond de lacs, de marais ou d'autres cavités de même espèce qui existoient alors dans le terrain plat, mais élevé, qui constitue actuellement la plaine Saint-Denis. La forme de ces dépôts, la nature et la finesse des matières qui les composent, leur disposition en couches plus ou moins inclinées ou courbées, tout concourt à appuyer cette supposition.

Nous terminons ici ce que nous avons à dire du sol d'atterrissement des environs de Paris; nous ne prétendons pas en avoir fait l'histoire complette. Ce sol, dont la connoissance est très-importante à l'avancement de la géologie, comme l'a fort bien prouvé M. de Luc, demande à être étudié avec un soin particulier, et pourroit à lui seul occuper pendant long-temps un géologiste qui voudroit le connoître avec détail et précision.

TROISIÈME CHAPITRE.

NIVELLEMENS ET COUPES. — *Rapports des divers terrains entre eux, et considérations générales.*

Les hauteurs relatives des différentes formations que nous venons de décrire, étoient une connoissance curieuse à acquérir, utile pour établir les lois qui ont pu régir ces formations, si jamais on parvient à les découvrir, et nécessaire pour completter l'histoire géognostique du sol des environs de Paris; aussi avons-nous entrepris avec autant de suite et d'ardeur que les circonstances dans lesquelles nous nous trouvons ont pu nous le permettre, les observations propres à obtenir cette connoissance.

Le peu de hauteur de nos collines, et par conséquent les différences très-foibles qui peuvent exister dans le niveau des différens points d'une même couche, nous avoient fait croire que le nivellement géométrique étoit le seul moyen que nous puissions employer; mais dans ce même temps les travaux pratiques de MM. de Humboldt, Ramond, Biot et Daubuisson ont, d'une part, tellement perfectionné les méthodes de nivellement barométrique et l'instrument lui-même, et, de l'autre, tellement simplifié les méthodes de calculer les observations, que, même dans un pays presque plat, nous avons vu qu'il y avoit un avantage immense à adopter ce moyen simple, sûr et expéditif de nivellement. Nous avons donc mesuré,

à l'aide du baromètre, la hauteur de plus de cinquante points aux environs de Paris; nous avons répété nos observations deux fois, même trois fois lorsqu'il nous a été possible de le faire.

Nous aurions desiré pouvoir les multiplier davantage, observer un plus grand nombre de points sur une surface plus étendue, et n'inscrire que les résultats des observations qui, répétées au moins deux fois, auroient été parfaitement d'accord entre elles; mais le temps ne nous a pas permis de donner à notre travail cette extension et ce degré de perfection. Nous ne présentons donc que comme un essai encore imparfait, quant aux petites différences de niveau, les coupes que nous donnons ici, ainsi que le tableau des hauteurs qui les précède et qui leur sert de preuve.

On ne doit regarder comme points exactement déterminés et placés, que ceux qui sont mentionnés dans le tableau qui va suivre. Toutes les lignes de jonction de ces points ont été mis, ou par supposition ou d'après d'anciennes observations dans lesquelles on ne peut avoir beaucoup de confiance. Mais on remarquera au moins que la plupart de ces points sont peu importans, tandis que ceux qui devoient donner des connoissances précises sur les hauteurs des diverses formations, tels que Montmartre, Montmorency, Bagneux, le calcaire de Sèvres, etc. ont tous été déduits de deux ou trois observations faites avec beaucoup de soin.

La vue de ces coupes et de la carte géognostique qui y est jointe, conduit nécessairement à des considérations générales

générales sur la disposition des divers terrains que nous venons de décrire, et à une récapitulation des règles qu'elle paroît avoir constamment suivies; elle nous amène à rechercher quel aspect ont dû présenter ces divers terrains avant d'avoir été recouverts par ceux qui se sont déposés sur eux, et par conséquent quels sont les divers changemens et révolutions probables que notre sol a dû éprouver avant de prendre la forme que nous lui connoissons.

Nous tâcherons d'être aussi réservés dans ces considérations générales que nous l'avons été dans les conséquences particulières que nous avons déjà eu occasion de tirer, et de nous défier de la propension aux hypothèses à laquelle conduit presque irrésistiblement l'étude de la structure de l'écorce de la terre.

On voit d'abord, tant par les coupes que par nos descriptions, que la surface de la craie qui constitue le fond de cette espèce de golfe ou de bassin, est très-inégale, et que les inégalités qu'elle présente ne ressemblent pas à celle de la surface du sol actuel.

Tandis que celui-ci offre de vastes plateaux tous à peu près au même niveau, des couches horizontales qui les divisent, et des vallons réguliers qui les sillonnent, la craie au contraire ne présente que des masses sans couches, des promontoires ou des îles; et si on la suit dans les lieux plus éloignés de Paris, où elle se montre à nu et beaucoup plus élevée, on la voit former des escarpemens et des faces abruptes sur le bord des vallées, et de hautes falaises sur les rivages de la mer.

L'argile plastique et le sable qui la recouvrent ont commencé, dans quelques points, à unir ce sol raboteux, en remplissant les cavités les plus profondes et s'étendant en couches minces sur les parties élevées; mais ce dépôt argileux s'est beaucoup trop ressenti des inégalités de la surface du sol de craie : c'est ce qui rend sa présence toujours incertaine et son extraction souvent dispendieuse, à cause des recherches infructueuses qu'on est obligé de faire. La coupe que nous donnons du sol des environs d'Abondant, près de Dreux, montre cette disposition telle qu'on peut se la figurer d'après les résultats des fouilles nombreuses qu'on a faites dans ce lieu pour en extraire l'argile qui y possède une qualité réfractaire assez rare.

La surface du sol de craie peut avoir été ou sous marine ou découverte par les eaux qui se seroient retirées pour revenir ensuite déposer le terrain de calcaire grossier. La première hypothèse est la plus simple, et par cela même doit être admise de préférence; mais la seconde a aussi en sa faveur la séparation nette et complette qui se montre dans beaucoup de points, et peut-être partout, entre le dépôt de craie et celui de calcaire grossier.

La craie, avant d'être recouverte par le calcaire, le gypse, etc. qui se sont déposés sur sa surface, paroissoit donc devoir former un sol, une campagne dont les collines et les vallées, et par conséquent l'aspect étoit très-différent de celui de notre sol actuel; mais voyons si cette ancienne surface a passé à la surface présente sans

intermédiaire. C'est sur quoi nos coupes pourront encore nous donner quelques lumières.

On voit, tant par la carte que par ces coupes, que le fond du bassin de craie a été recouvert, en partie rempli, et ses inégalités considérablement adoucies par un dépôt de calcaire marin grossier.

Ce calcaire marin s'étendoit-il en couches horizontales dont la surface supérieure et extérieure formoit une plaine unie, sur tout le bassin de craie, en faisant disparoître entièrement toutes les inégalités de son fond, ou suivoit-il de loin ces inégalités de manière, non pas à les faire disparoître entièrement, mais seulement à les adoucir? Cette dernière supposition nous paroît la plus fondée, sans qu'on puisse cependant en donner d'autres preuves que les observations suivantes.

A mesure qu'on s'éloigne du bassin particulier au milieu duquel sont situés Paris et Montmartre, on voit non seulement les collines calcaires s'élever, mais les lits reconnoissables qui entrent dans cette formation s'élever également, comme on peut le remarquer sur la coupe de la plaine de Montrouge.

Nous savons d'ailleurs par M. Héricart de Thury que les bancs calcaires de dessous Paris vont en s'approfondissant, en s'amincissant, et même en se désaggrégeant tout-à-fait à mesure qu'on s'approche de la rivière. On remarque sur la coupe nº 1, que le *banc vert*, à l'extrémité de la rue de l'Odéon, est au niveau de la rivière, tandis que ce même banc, qui suit toujours celui qu'on nomme *roche*, est à quarante mètres d'élé-

vation dans les carrières près de Bagneux. On observe à peu près la même disposition dans les autres couches. Le calcaire est peu élevé sur les bords de la plaine de Grenelle, depuis Vaugirard jusqu'à Issy; mais il s'élève considérablement à Meudon. La même disposition se remarque de l'Étoile à Saint-Germain, sur la coupe nº 5.

Le calcaire grossier, en se déposant sur les parois du bassin de craie, l'a donc recouvert d'une couche qui paroît avoir suivi de loin les principales inégalités du fond de ce bassin. Cette disposition n'a apporté aucun changement dans l'ordre de succession des différens lits qui composent cette formation; mais elle en a apporté de très-grands et dans leur hauteur et dans leur épaisseur relative. Ainsi la carte et nos coupes font voir que le calcaire grossier, très-haut à Grignon (coupe nº 3), à Meudon et à Chantilly, va en s'abaissant vers la plaine de Montrouge, vers celle de Colombe et sur toutes les collines basses qui entourent la plaine de Saint-Denis. On ne connoît pas précisément ce calcaire, ni dans cette plaine, ni dans ses appendices étendues et coloriées en vert sur la carte, soit parce qu'il y est trop profondément situé, soit parce qu'il a pris une nature minéralogique qui le fait méconnoître; mais on retrouvera facilement cette formation à la place et presque au niveau qu'elle doit occuper, si on veut la rechercher avec quelque attention et au moyen des caractères géologiques qui lui sont propres.

On peut remarquer, non seulement aux environs de Paris, mais dans un grand nombre d'autres lieux, que

chaque espèce de formation est séparée de celle qui la suit ou de celle qui la précède, par un lit de sable siliceux friable ou agglutiné en grès, et plus ou moins épais. Ainsi, entre la craie et le calcaire à cérites on trouve des bancs de sable très-puissans alternant avec l'argile plastique. Les lits inférieurs de ce calcaire sont souvent aussi sablonneux que calcaires. On reconnoît également à la partie supérieure du calcaire grossier ou à cérites, et par conséquent vers la fin de la formation, soit des dépôts de quartz et de silex corné assez abondans, comme à Neuilly, à Passy, à Sèvres, à Saint-Cloud, etc.; soit des bancs de grès puissans, tantôt coquilliers, comme à Triel, Ezainville, etc., tantôt et même plus souvent sans coquilles dans la plus grande partie de leur épaisseur, comme à Villiers-Adam, à la descente de Maflier, à Louvres, etc.; enfin la masse énorme de sable ou de grès qui surmonte presque partout le gypse, qui est la dernière des trois grandes formations de nos cantons, vient confirmer d'une manière bien évidente cette règle générale.

C'est par le grès marin qui forme ordinairement les derniers lits du calcaire à cérite, que se manifeste la présence de cette formation dans plusieurs points de la plaine Saint-Denis. Les lieux où nous l'avons décrit sont principalement Beauchamp près de Pierrelaye, Ezainville, le fond de la carrière dit de *la Hutte-au-Garde*, à l'ouest de Montmartre, et celui du puits de la rue de la Rochechouart, au sud de cette même colline.

Qu'on examine maintenant sur les coupes n°s 1 et 2,

et qu'on compare le niveau de ces grès ou de cette partie supérieure du calcaire marin avec celui de la plaine Saint-Denis, et on verra que si cette plaine et ses dépendances paroissent assez basses quand on les parcourt, c'est à cause des buttes de gypse qui y sont placées et qui les dominent; mais en examinant sur nos coupes la véritable position de ces grès, on voit qu'ils sont très-élevés au-dessus du sol d'atterrissement, tous à peu près au même niveau, et que ce niveau est à peu de chose près celui du calcaire marin de Saint-Maurice près Vincennes, de la plaine de Grenelle un peu au-dessus de Vaugirard, de la partie la plus basse de la plaine de Montrouge, de Neuilly, et de toutes les couches calcaires qui avoisinent la plaine Saint-Denis.

Les coquilles marines trouvées au fond du puits de la rue de la Rochechouart paroissent faire une exception à cette règle par leur position beaucoup inférieure à celle de toutes les autres; mais il faut observer que ce lieu est très-près du lit de la Seine, et par conséquent de la partie la plus basse de la vallée : ce qui s'accorde avec ce que nous avons dit plus haut sur la manière dont les couches calcaires paroissent avoir suivi la forme du bassin de craie. Ainsi on peut dire que si les constructeurs ne reconnoissent pas de pierre calcaire proprement dite dans la plaine Saint-Denis, la formation de ce calcaire marin n'existe pas moins dans cette plaine pour le géologue, et qu'elle n'y est recouverte que par un dépôt souvent très-mince de terrain d'eau douce.

Ces réflexions, que doit faire naître nécessairement l'étude de nos coupes, nous porte à croire que le calcaire marin ne formoit pas aux environs de Paris une plaine unie d'un niveau à peu près égal partout; mais qu'après avoir été déposé, et avant qu'aucune cause subséquente ait pu en sillonner la surface, il présentoit déjà des vallées et des collines; les premières peu profondes, les autres peu élevées, et suivant les unes et les autres, tout en les adoucissant, les inégalités du sol de craie. Telle a dû être la surface du second sol des environs de Paris avant que la troisième formation soit venue s'y déposer, et avant que les eaux ou d'autres causes que nous ne pouvons assigner, aient creusé des vallées qui n'étoient pour ainsi dire qu'ébauchées.

Le terrain qui est venu recouvrir le calcaire marin ne renferme plus de productions marines; il ne présente au contraire que des débris d'animaux et de végétaux semblables à ceux que nous voyons vivre actuellement dans l'eau douce. La conséquence naturelle de cette observation, c'est que la mer, après avoir déposé ces couches de calcaire marin, a quitté ce sol qui a été recouvert par des masses d'eau douce variables dans leur étendue et dans leur profondeur. Ces amas d'eau douce ont déposé sur leur fond, d'abord du calcaire, tantôt pur, tantôt siliceux, renfermant de nombreux débris des coquilles qu'elles nourrissoient, ensuite des bancs puissans de gypse alternant avec des lits d'argile.

L'inspection des coupes semble indiquer que ces dépôts ont été plus épais dans les parties où le calcaire

marin étoit plus profondément situé, et plus minces sur les plateaux élevés de ce calcaire. Mais, quoique les couches de gypse d'un même bassin soient à peu près au même niveau, comme on peut le voir sur les coupes n°. 1 et 2, de Bagneux à Montmorency, on y voit aussi: 1°. qu'elles sont un peu plus relevées sur les bords du bassin dont Bagneux et Clamart faisoient très-probablement partie, et un peu plus basses, mais beaucoup plus épaisses dans le milieu de ce bassin, c'est-à-dire dans le lieu où sont situés Montmartre, Sanois, etc. 2°. que ces couches de gypse ne se continuoient pas horizontalement d'une colline à l'autre, lorsque l'espace qui les séparoit étoit considérable, mais qu'elles suivoient encore à peu près les inégalités du fond sur lesquelles elles se déposoient. Ainsi la coupe n° 2 nous fait voir le gypse de Saint-Brice, à l'extrémité orientale de la colline de Montmorency, un peu plus bas que dans le milieu de cette colline; celui du nord de Montmartre, à Clignancourt, est sensiblement plus bas que dans le centre de cette montagne, et cette inclinaison est même tellement forte dans certains points, qu'elle a forcé les couches de se rompre et de se séparer, comme on l'observe dans la carrière de Clignancourt.

Il paroît que la formation de calcaire inférieur formoit, au lieu dit *la Hutte-au-Garde*, une sorte de protubérance. (1) Aussi les couches de gypse appliquées ici

(1) Cette protubérance du calcaire marin fait probablement partie d'une colline intérieure de calcaire qui entoure Paris au nord, qui forme le plateau

immédiatement

immédiatement sur le calcaire marin, sont-elles plus hautes que les couches correspondantes dans le corps de la montagne. Nous avons indiqué par une ligne ponctuée la forme que nos nivellemens permettent d'attribuer à cette protubérance.

Le gypse porté à Clamart sur une masse puissante de calcaire marin, est dans une position très-élevée; mais en continuant d'aller au sud, et en descendant dans la vallée de l'Yvette, ce calcaire marin, probablement très-profond, disparoît entièrement, et on voit le gypse, les huîtres et toutes les parties de la formation gypseuse s'abaisser vers cette vallée ou vers le milieu de ce second bassin.

Il paroît donc que la surface de la formation gypseuse proprement dite avoit aussi des collines et des vallées qui lui étoient propres; que ces inégalités avoient quelques rapports avec celles du sol inférieur, mais qu'elles étoient encore plus adoucies que celles du calcaire grossier. Ainsi nous ne pensons pas qu'il régnât de Montmartre à Montmorency, d'une part, et de Montmartre à Bagneux, d'une autre part, une couche de gypse parfaitement horizontale et continue; mais il paroît, autant qu'on peut en juger par les témoins qui restent, que cette couche s'abaissoit et s'amincissoit vers

---

qu'on remarque à la partie supérieure des rues de Clichy, de la Rochechouart, du Faubourg Saint-Denis, du Faubourg du Temple, etc., et qui semble lier le calcaire de Passy avec celui de Saint-Maurice.

les vallées de la Seine et de Montmorency, et présentoit déjà l'ébauche de ces vallées.

Enfin, une nappe de sable siliceux d'une immense étendue et d'une grande puissance, a recouvert tout le sol gypseux. Les productions marines évidentes, nombreuses et variées qui se trouvent dessous et dessus cette masse de sable, nous obligent d'admettre qu'elle a été déposée par une eau analogue à celle de la mer. Ce dernier dépôt se formant sur un sol déjà assez uni, a fini par niveler presque complettement le terrain. C'est ce que prouvent les nombreux témoins qui restent de ce sol, et qu'on voit sur nos coupes presque tous au même niveau. L'épaisseur considérable de ce sol, le peu d'adhérence de ses parties, et les faces abruptes qu'il présente sur le bord de presque tous les plateaux et collines, son absence totale des vallées qui séparent ces collines, sont des faits qui ne nous permettent pas de supposer que cette couche de sable ait été déposée partiellement sur chaque sommet ou plateau, ni que les vallées qui la sillonnent actuellement existassent au moment où elle s'est formée. Ces observations faciles à faire, évidentes, nombreuses, nous forcent donc d'admettre qu'à l'époque où les eaux qui ont amené cette nappe de sable se sont retirées, le sol des environs de Paris, maintenant si agréablement varié par ses coteaux, ses plaines et ses vallons, présentoit une plaine sablonneuse immense, parfaitement unie ou du moins foiblement creusée dans les parties où sont actuellement nos vallées les plus grandes et les plus profondes.

Telle doit avoir été la surface du troisième sol des environs de Paris, de celui qui a précédé immédiatement le sol actuel.

Ce sol uni a été modifié ensuite par des causes dont nous ne pouvons nous faire aucune idée satisfaisante; il a été coupé dans presque tous les sens par de nombreuses et belles vallées.

On a proposé, pour expliquer la formation des vallées des pays primitifs et secondaires, deux principales hypothèses qui ne peuvent s'appliquer ni l'une ni l'autre à la formation de nos vallées.

La première, qui est en grande partie due à M. de Luc, explique d'une manière fort spécieuse la formation de la plupart des vallées des pays primitifs. Elle consiste à admettre des affaissemens longitudinaux de terrain. Dans cette supposition les faces des coteaux doivent présenter des couches inclinées, et le fond des vallons être de même nature au-dessous de l'atterrissement que le sommet au moins d'un des coteaux voisins. Mais nous devons faire remarquer de nouveau, 1°. que les couches conservent sur le bord des coteaux leur horizontalité et leur régularité, et 2°. qu'aucune de nos vallées ne présente sur son fond un sol semblable à celui des collines qui les bordent. Ainsi la plaine de Grenelle, celle du Point-du-Jour, le fond de la Seine à Sèvres, qui devroient être composés au moins de calcaire grossier, si on suppose que les terrains de sables et de gypses supérieurs ont été enlevés ou dissous par les eaux, offre la craie qui fait la base de ces terrains, et elle est

simplement recouverte de quelques mètres d'atterrissement.

La seconde hypothèse est la plus généralement admise, parce qu'elle paroît très-naturelle et très-convenable à la théorie des vallées des terrains secondaires. On suppose que des courans puissans, dont nos rivières et nos ruisseaux sont les foibles restes, ont creusé les divers terrains qui constituent notre sol, en entraînant dans la mer les parties qui remplissoient ces immenses et nombreuses vallées. Certains faits paroissent assez bien s'accorder avec cette supposition : telles sont les faces abruptes des coteaux qui bordent les grandes vallées, et qui sont toujours placées vis-à-vis de vastes atterrissemens; les sillons ou érosions longitüdinales que présentent à une hauteur assez grande, et à peu près au même niveau, les faces abruptes de certaines vallées. Sans rappeler les objections générales qu'on a faites contre cette hypothèse, et en nous bornant aux seules objections qui résultent de l'observation de nos terrains, nous demanderons quel énorme volume d'eau ne faut-il pas admettre pour qu'il ait pu entraîner les matières souvent tenaces et même dures qui constituoient les portions de couches qui manquent; et comment est-il possible qu'une pareille masse ait agi longitudinalement dans un espace étroit, sans enlever les terrains meubles et friables qui bordent ces vallées, et en laissant à ces terrains des pentes très-rapides et même des faces abruptes? Puis, passant par-dessus cette objection, nous demanderons avec M. de Luc ce que sont devenues toutes

ces matières, ces masses de calcaire presque compacte, de grès, de meulières qui entrent dans la composition de nos couches, et cette énorme quantité de sable siliceux et friable, de marnes et d'argile qui lient ces matières; car il n'est point resté dans nos vallées la dix-millième partie de ces déblais immenses. Les atterrissemens qui en recouvrent le fond ne sont ni très-abondans ni de même nature que les plateaux qui les bordent. Ces atterrissemens sont presque toujours, à l'exception de ceux des grandes rivières, des vases fermes et argileuses, et des tourbes. D'ailleurs la pente de ces vallées est si peu rapide, que la Seine, qui remplit la plus grande d'entr'elle du volume d'eau le plus puissant, n'a pas la force de déranger, dans ses plus grands débordemens, une pierre de la grosseur de la tête. Enfin, et cette objection est la plus forte, on trouve de temps en temps des élargissemens qui ne paroissent renfermer ni plus ni de plus gros déblais que le reste de la vallée, et qui sont même quelquefois occupés par des lacs ou amas d'eau que les déblais de la partie supérieure de la vallée auroit dû nécessairement combler. L'inspection de la carte présentera une quantité considérable de marais, d'étangs et même de petits lacs dans les vallées les plus profondes et les plus circonscrites. Il faut donc encore se borner en géologie à l'observation des faits, puisque l'hypothèse qui paroît la plus simple et la plus naturelle est sujette à des objections jusqu'à présent insolubles.

Le plateau sableux est, comme nous l'avons dit, assez rarement à nu; il est recouvert presque partout d'un

lit de terrain d'eau douce quelquefois très-mince, mais quelquefois épais de plusieurs mètres. Ce dernier lit n'ayant pas beaucoup changé l'aspect du sol, nous en faisons abstraction; il nous suffira de faire remarquer qu'on ne le trouve ni sur le sommet de Montmartre ni sur celui de la butte d'Orgemont. Le sommet de ces collines beaucoup plus basses que les autres, semble avoir été emporté, et avec lui le terrain d'eau douce qui le terminoit; peut-être aussi ce terrain n'y a-t-il jamais été déposé, car il est possible qu'il n'ait été formé que sur des plateaux d'une assez grande étendue pour avoir pu conserver, après la retraite des eaux marines, des marres d'eau douce : tels sont ceux de la Beauce, de Meudon, de Montmorency, de Mesnil-Montant, de Fontainebleau, etc.

Le défaut de parallélisme entre les surfaces supérieures des trois principales sortes de terrains qui constituent les environs de Paris, savoir, la craie, le calcaire marin grossier et le gypse avec les sables qui le surmontent, doit donc faire supposer que ces terrains ont été déposés d'une manière tout-à-fait distincte et à des temps nettement séparés les uns des autres; car ce défaut de parallélisme est un des caractères essentiels, suivant M. Werner, de la distinction des formations. La forme actuelle de la surface de notre sol nous force d'admettre qu'elle a été modifiée par des causes sur la nature desquelles nous n'avons aucune notion précise, mais qui doivent avoir eu une grande puissance, puisqu'elles l'ont entamé jusque dans le milieu des bancs de calcaire,

comme on peut l'observer dans un grand nombre de points de la vallée de la Seine. Il paroît que ces causes ont agi principalement du sud-est au nord-ouest ; ce que nous indique l'alignement assez frappant de toutes les buttes et collines principales dont les sommets sont restés comme autant de témoins et de cette direction de la cause qui les a entamés, et du niveau à peu près le même partout du dernier dépôt.

Cette dernière cause est aussi celle qui a le plus éloigné la forme de la surface du sol actuel des environs de Paris, de celle qu'elle devoit avoir lorsque la craie en formoit le terrain le plus superficiel. Il régnoit alors une immense vallée entre le coteau de craie qui s'étend depuis le dessous de la plaine de Montrouge jusqu'à Meudon et Bougival, et celui qui reparoît au nord à Beaumont-sur-Oise.

C'est dans ce même lieu, et à la place de cette large et profonde vallée, que nous voyons maintenant les buttes, les collines et les plateaux de Montmartre, de Sanois, de Montmorency, etc. qui sont les points les plus élevés de nos cantons. On peut donc dire que si les surfaces des différens sols qui ont été déposés, depuis la craie jusqu'au sable, ont conservé quelque empreinte de celui sur lequel ils se sont comme moulés, il n'y a plus entre la forme de ce premier terrain et celle du sol actuel la moindre ressemblance. Si nous poussons plus loin la recherche curieuse des différences de cet ancien sol et du nôtre, sans toutefois nous écarter de la règle des analogies, et en nous permettant seulement

de supposer que la mer a laissé quelque temps la craie à nu, nous devons nous figurer, à la place de nos fertiles campagnes de la Beauce, de la plaine Saint-Denis, de Gonesse, etc., de larges et blanches vallées de craie stériles comme celles de la Champagne, et conservant cette stérilité jusqu'au moment où des marais d'eau douce sont venus déposer les marnes calcaires et siliceuses susceptibles de se désaggréger, de nourrir des végétaux et d'être habités par les paléothériums et les autres quadrupèdes dont nous voyons les débris dans le terrain gypseux qui paroît avoir presque comblé ces marais ou ces lacs.

Nous devons nous arrêter ici. Ces tableaux de ce qu'a dû être notre ancien sol plaisent trop à l'imagination; ils nous conduiroient malgré nous à violer la loi que nous nous sommes imposée de ne décrire que des faits.

TABLEAUX

TABLEAUX

Des hauteurs mesurées aux environs de Paris, et qui ont servi à dresser les diverses coupes et profils de ce canton.

OBSERVATIONS PRÉLIMINAIRES.

L'INCERTITUDE où l'on est sur l'élévation précise de l'observatoire au dessus du niveau de l'Océan et l'inutilité dont cette mesure étoit pour l'objet de notre travail, nous a décidés à prendre pour base de toutes nos hauteurs le zéro du pont de la Tournelle. C'est le point d'où est parti M. Girard, ingénieur en chef des ponts et chaussées pour faire le nivellement détaillé de Paris; ce nivellement, qui a été fait avec la plus grande exactitude, nous a donné plusieurs points importans dans l'intérieur même de Paris, et nous a servi à comparer, dans ces cas, nos observations barométriques avec des observations géométriques très-précises. Nous y avons trouvé, comme on va le voir, une correspondance qui a dû nous donner de la confiance dans celles que nous n'avons pu contrôler par ce moyen.

Mais, quoique nous donnions nos hauteurs au-dessus du zéro du pont de la Tournelle, nous avons voulu ce-

pendant, 1°. pouvoir nous servir de mesures publiées avant nous, et qui donnent les hauteurs au-dessus du niveau de l'Océan; 2°. indiquer les moyens de ramener toutes nos mesures à cette base commune et probablement invariable. Nous avons fait cette réduction d'après les données suivantes :

	Au-dessus de o du Pont de la Tournelle.	Au-dessus de l'Océan dans la Manche.
La cuvette du baromètre de l'observatoire est de 73 mètres au dessus du niveau de l'Océan, d'après M. Ramond, qui a pris une moyenne entre les observations de MM. Capron, Delambre et Biot, observations qui donnent des résultats très-différens, ci.	. . . .	73
La cuvette du baromètre de l'observatoire est à 40 mètres au dessus de zéro du pont de la Tournelle, d'après les données suivantes :		
Seuil de la porte nord de l'observatoire au dessus du zéro du pont de la Tournelle, d'après le nivellement de M. Girard 33.2		
Salle des baromètres au-dessus du seuil de la porte nord, d'après les mesures de M. Mathieu. . . 5.6		
Cuvette du baromètre au-dessus du plancher. . . 0.8		
Total 39.6		
En négligeant les décimètres, ci	40	
En ôtant cette somme de celle qui donne l'élévation de la cuvette du baromètre de l'observatoire au dessus de l'Océan, on a 33 mètres pour l'élévation présumée de zéro du pont de la Tournelle au dessus de l'Océan, ci.	. . . .	33
Nous ramènerons donc au zéro du pont de la Tournelle les résultats publiés avant notre travail, et qui donnent les hauteurs au-dessus de l'Océan, en soustrayant 33 mètres de ces résultats.		

	Au dessus de o du Pont de la Tournelle.	Au dessus de l'Océan dans la Manche.

M. Daubuisson ayant donné la hauteur de quelques points des environs de Paris, prise à l'aide du baromètre, nous avons dû les faire entrer dans notre travail. Il a fallu pour les ramener à notre point de départ, soustraire de ses résultats 40 au lieu de 33, parce que M. Daubuisson a calculé la hauteur de la cuvette du baromètre de l'observatoire, d'après les données suivantes :

Hauteur des moyennes eaux de la Seine au-dessus de l'Océan, d'après Capron. 34

Hauteur de la cuvette des baromètres de l'observatoire au-dessus des moyennes eaux de la Seine, d'après Picard. 46

Hauteur de la cuvette du baromètre de l'observatoire au-dessus de l'Océan 80

On voit que la différence de ce résultat avec le nôtre, vient de ce que M. Daubuisson a pris les données de Picard, tandis que nous avons cru convenable de prendre celles de M. Girard, plus nouvelles et plus précises, quant au point de départ.

Quand il y a plusieurs hauteurs indiquées pour le même point, celle qui a été employée dans nos coupes est marquée d'une astérisque *.

LIEUX.	AUTORITÉS.	Au dessus du o du Pont de la Tournelle.
		mèt.
Divers Lieux dans Paris pouvant servir de point de départ.		
L'OBSERVATOIRE.		
Seuil de la porte du nord.. . .	Girard, nivellement de Paris.	33.
La cuvette du baromètre.. . .	Mathieu.	40.
Hauteur totale de l'Observatoire 26.85.	Mathieu.	
Le parapet de la plateforme, (en négligeant les décimètres).	*Idem*..	60.
Le fond des caves..	Mathieu, Hericard de Thury.	5.3
Le sol du Panthéon..	Girard, nivellem. de Paris. .	31.
Le pavé en face Notre-Dame.. . .	*Idem*.	9.
Ligne N. Q. N. O. de Paris à la forêt de MONTMORENCY. *Coupe* n°. 2.		
Le sol d'atterrissement dans Paris, à la Bourse de la rue Vivienne.	Girard, nivellement	10.2
La porte Saint-Martin..	*Idem*	9.2
L'abattoire de la rue de la Rochechouart, bord du puits oriental	Girard, nivellement. . . .	* 38.2
	Nos observ. barom.	37.6
Les limnées dans ce puits. . .	Coupe de M. Belanger. . .	15.4
Barrière de Clichy.	Girard	32.
MONTMARTRE.		
Sommet au sol de la porte du cimetière.	Daubuisson, observ. barom.	110.
	Girard, nivellement. . . .	* 105.
	Nos observ. barom.	103.

LIEUX.	AUTORITÉS.	Au dessus de o du Pont de la Tournelle.
		met.
Plateau de la pyramide.	Lalande, Connoissance des Temps.	88.
	Nivel. de M. Desmarest fils, en partant du sommet, 12^m ($105 - 12 = 93$) ci. . .	93.
	Nos observ. barom.	91.
Le banc d'huitres au S. O. . . .	Nivell. de M. Desmarest fils, en partant du sommet, 26^m. ($105 - 26 = 79$). .	79.
	Nos observ. barom. du 24 avril 1810	73.
	Idem du 16 mars 1811. . . .	* 77.
Epaisseur moyenne des diverses parties principales qui recouvrent la 1ere masse à la carrière aux huîtres, à Montmartre. Du sommet au banc d'huître, épaisseur du sable . . . . 28. Des huîtres aux coquilles marines variées . . . . . . 3.2 De ces coquilles aux marnes vertes . . . . 1.7 Epaisseur des marnes vertes. 4. Des marnes vertes au lit de cythérées. . . . . 0.3 Du lit de cythérées au sommet de la 1ere masse . . . . 14. Total 51.2		
Sommet de la 1ere masse de gypse. . Carrière du midi, *dite* de l'Abbaye.	Nos observ. barom.	63.

LIEUX.	AUTORITÉS.	Au dessus de o du Pont de la Tournelle.
		mèt.
Carrière du midi, un peu vers l'Ouest.	Nos observ. barom.	* 62.
Carrière de l'Ouest, *dite* la carrière aux huîtres.	Par soustraction de l'épaisseur totale ci-dessus, (105 — 51 = 54) ci. . .	* 54.
	Nos observat. barom. du 24 août 1810	53.
	Idem du 16 mars 1811.. . .	55.
Carrière du Nord à Clignancourt..	Nos observat. barométr. . .	47.
Carrière de l'Est	Nos obs. barom. du 24 avril 1810.	60.
	Idem du 16 mars 1811.. . .	60.
Fond de la 1ère masse.		
Carrière de l'Ouest attenant à la carrière aux huîtres	Nos observ. barométr. . . .	36.
Carrière du Nord à Clignancourt.	Nos obs. barom. du 24 avril.	27.
	Idem du 16 mars.	* 31.
Carrière de l'Est.	Nos obs. barom. du 24 avril.	34.
	Idem du 16 mars	* 38.
Sommet de la seconde masse à la carrière de l'Ouest.	Nos obser. barom.	36.
Fond de la seconde masse au même lieu.	Mesuré au cordeau	27.
Sommet de la troisième masse à la carrière de la hutte au garde au N. O.	Mesuré au cordeau, en partant du fond (8 m.). . . .	38.
Fond de la troisième masse au même lieu.	Nos observ. barom.	30.
Saint-Ouen. Sommet du terrain d'eau douce.	Nos observ. barom.	18.
Bord de la Seine.	*Idem*, (mais au dessous du o).	— 4.

LIEUX.	AUTORITÉS.	Au dessus de o du Pont de la Tournelle.
		mèt.
Plaine Saint-Denis.	Niveau moyen, d'après Girard.	24.
Butte d'Orgemont.		
Sommet de la butte, au moulin.	Nos observ. barom.	101.
Marnes vertes.	*Idem*.	92.?
Sommet du gypse	*Idem*.	52.
Sanois. Sommet de la colline, aux trois moulins.	Cotte.	141.
	Nos observ. barométr.	* 144.
Montmorency.		
Sol de l'église.	Cotte.	* 82.
	Schukburg.	81.
Saint-Leu. Sommet du gypse . . .	Nos observ. barom.	60.
	Idem du 16 mars 1810. . . .	* 63.
Moulignon. Sommet du gypse . . .	Nos observ. barom.	65.
Saint-Prix. Le village, qui est au niveau du sommet des marnes du gypse.	Nos obser. bar. . . 1er obs. .	91.
	Idem. . . . . 2e obs. .	* 92.
	Idem du 26 août 1810. . .	97.
Colline de Montmorency. Sommet du plateau sableux au dessus de Saint-Prix.	Nos observ. barom.	150.
Au dessus de Saint-Leu. . . .	Nos observ. barom.	* 155.
	Idem du 26 août . . .	151.
Au moulin des Champeaux. . .	Cotte	141.
Sommet du gypse à Saint-Brice, extrémité orientale de la colline.	Nos observ. barom.	56.
Beauchamp près Pierre-Laye, à l'Est de la ligne.		
Grès marin du calcaire. . . .	Nos observat. barom.	42.
Terrain d'eau douce qui le couvre.	*Idem*.	44.

LIEUX.	AUTORITÉS.	Au dessus du o du Pont de la Tournelle.
		mèt.
Ligne du Sud, de Paris à Longjumeau, Coupe n°. 1.		
Le calcaire sous Paris.		
Le banc vert au bout de la rue de l'Odéon.	Héricart-de-Thury	2.
Le banc vert dans les caves de l'Observatoire.	*Idem*.	4.3
Le calcaire dans la plaine de Montrouge.		
Ouverture du puits de la carrière du petit Montrouge.	Nos observ. barométr . . .	39.
Le banc vert dans cette carrière.	Rapport des ouvriers. . . .	17.
Carrière de Gentilly. La terre végétale.	Nos observ. barom.	50.
La roche.	Mesurée au cordeau. . . .	38.
L'argile plastique	Mesurée au cordeau	23.
Ouverture du puits de la carrière de Châtillon, n°. 42 . . .	Nos observ. barom.	65.
La masse de roche dans cette carrière.	Rapport des ouvriers. . . .	44.
Ouverture du puits de la carrière la plus voisine du chemin de Bagneux.	Obs. bar. de M. Daubuisson.	61.
Le gypse.		
Bagneux. Ouverture du puits de la carrière à plâtre du sieur Jeulin.	M. Daubuisson.	85.
	Nos obser. barom. du 26 mars 1811.	* 82.
Fond de la masse de gypse dans cette carrière.	Deux rapports des ouvriers à un an d'intervalle. . . .	55.

LIEUX.	AUTORITÉS.	Au dessus du 0 du Pont de la Tournelle.
		mètres.
Clamart. Ouverture du puits de la carrière à plâtre.	M. Daubuisson.	99.
	Nos obser. barom. du 10 mars 1810.	* 95.
Fond de la masse de gypse dans cette carrière.	Mesurée au cordeau.	65.
Sceaux. Rez-de-chaussée de la maison de M. Defrance. 1 à 2 mètres au dessus du banc d'huître.	Nos observ. barom. du 24 septembre 1809.	67.
Le banc d'huître.	*Idem* du 26 mars 1811.	* 66.
Antony. Ouverture du puits de la carrière à plâtre.	Nos obs. bar. du 22 mars 1810.	52.
	Idem du 26 mars 1811.	* 53.
Fond de la masse qui a 6 mètres.	Nos observ. bar. du 22 mai.	23.
	Idem du 26 mars.	* 27.
	Rapport des ouvriers (80 pieds).	27.
Longjumeau.		
Le banc de sable d'eau douce.	Nos observ. barom.	75.
Le banc d'huître.	Nos observ. barom. du 24 septembre 1809.	52.
	Nos observ. barom. du 3 juillet 1810.	* 58.
La Bièvre à Bièvre.	D'après Perronet et les données de Deparcieux (116 pieds au dessus de N. D.).	53.
L'Yvette au moulin de Vosgien.	D'après Deparcieux (83 pieds 9 pouc. au dessus de N. D.)	43.
Au moulin de Longjumeau.	*Idem* (44 pieds au dessus de N. D.).	30.

LIEUX.	AUTORITÉS.	Au dessus du 0 du Pont de la Tournelle.
		mètres.
Ligne du S. E. Q. E. de Paris à l'étang de Trappes. Coupe n°. 3.		
L'angle Est de l'Ecole Militaire au niveau du sol.	Girard, nivellem. de Paris. .	11.
La craie au fond du puits de l'École militaire. (29 mètres au dessous du bord).	D'après M. Hazon, architecte.	— 18.
Vaugirard.		
Ouverture d'un puits à argile. .	Nos observ. barom.	23.
Le calcaire dans ce puits. . . .	Rapport des ouvriers. . . .	21.
L'argile plastique *dite* première ou fausse glaise.	*Idem.*	12 à 10.
Seconde glaise.	. . . .	0
La Seine à Sèvres. Eaux moyennes .	Picard, 8 pieds plus basse qu'à Paris.	— 2.
	J. d. min. n°. 119.	— 3.
MEUDON.		
L'atterrissement au bas des moulineaux.	Notre nivellem. géom. . . .	4.
La craie au plus haut point. . .	*Idem.*	23.
L'argile plastique au jour. . .	*Idem.*	33.
Le sommet du calcaire dans la même carrière.	*Idem.*	63.
Le sommet du calcaire au dessus de la Verrerie.	Nos observ. barom.	59.
Le plateau sableux de Meudon, au rez-de-chaussée du Château.	Daubuisson, observ. barom. .	161.
SÈVRES.		
Le sommet du calcaire dans le parc de la Manufacture de porcelaine.	Notre nivellem. barométr. . .	67.

LIEUX.	AUTORITÉS.	Au dessus du o du Pont de la Tournelle.
		mèt.
Le sommet du calcaire au haut du vallon de Sèvres.	Notre nivellem. barométr. .	69.
Le sommet du plateau sableux, au lieu dit *Le trou pouilleux*, près Ville-d'Avray.	Daubuisson.	147.
Le sommet du plateau sableux, au butard.	Nos observ. barom.	140.
Le pied de la lanterne dans le parc de Saint-Cloud.	Daubuisson.	80.
VERSAILLES.		
Le rez-de-chaussée du château de Versailles.	D'après les données de Picard.	141.
Le sommet de la montagne de Roquencourt, entre Bailly et Marly.	Notes communiquées par M. Coquebert.	152.
Le sommet de la colline de Sataury	D'après Picard.	152.
L'étang de Trappes	*Idem*.	127.
GRIGNON.		
Sommet du banc friable à coquilles variées.	Nos observ. barom. moyenne de 3 observat.	79.

Ligne du N. O. de Paris à Saint-Germain. Coupe n°. 5.

L'Étoile. Barrière de Neuilly. . . .	Girard, nivellem.	* 31.
	Daubuisson, observ. barom. .	38.
	Nos observ. barom. du 26 avril 1810.	30.
Passy. Sommet du calcaire	Nos obs. barom.	30.

LIEUX.	AUTORITÉS.	Audessus du o du Pont de la Tournelle.
		mèt.
Bois de Boulogne. Rond des Victoires	Nos observ. barom.	28.
Porte des Princes.	*Idem*.	14.
Plaine des Sablons près la porte Maillot.	Daubuisson, observ. barom. .	18.
Carrière de calcaire à Neuilly. . . .	*Idem*.	18.
Plateau de la croix de Courbevoye. .	*Idem*.	49.
MONT-VALÉRIEN. Sommet.	Daubuisson, observ. barom. .	141.
	Nos obs. bar. du 26 mai 1810.	* 136.
Marnes vertes.	*Idem*.	78.
Sommet du gypse.	*Idem*.	48.
Plateau de la croix du roi. . .	Daubuisson.	66.
Le moulin sur le plateau au dessus de Ruelle.	Nos observ. barom.	63.
Saint Germain. Sommet du plateau.	Lalande. Connoissance des Temps.	63.
Bougival. Sommet de la craie. . . .	Nos observ. barom.	65.
Lieux plus éloignés qui peuvent être rapportés à cette ligne. Coupe n°. 5.		
Liancourt près Chaumont. Sommet du calcaire.	Nos observat. barom. . . .	98.
Gisors. Argile plastique immédiatement sur la craie au Mont-Ouin	*Idem*.	65.
Sommet du calcaire au Mont-Ouin.	*Idem*.	111.

LIEUX.	AUTORITÉS.	Au dessus du o du Pont de la Tournelle.
		mèt.
Ligne E. Q. S. E. de Paris au château de Cœuilly, et points qui peuvent y être rapportés. Coupe n°. 4.		
Plateau de Romainville, Belleville, etc.		
Bas du côteau près le bassin de la Villette.	Daubuisson, observ. barom.	36.
Bord du bassin de la Villette. .	Girard, nivellem. de Paris. .	26.
Sommet de coteau en face du bassin de la Villette. . . .	Daubuisson.	82.
Au pied du télégraphe.	*Idem*.	110.
Plaine Saint-Denis, au carrefour près de Pantin.	Girard, nivellement.	24.
Saint-Maurice, près Vincenne.		
Plateau du bois de Vincenne à la demi-lune.	Nos observ. barométr. . . .	42.
Champigny. Sommet du calcaire siliceux	Nos observ. barom.	50.
Plateau de sable et de la formation d'eau douce sur la route à l'alignement du château de Cœuilly.	Nos observ. barométr. . . .	78.
Butte du griffon près de Villeneuve-Saint-Georges.	Notes communiquées par M. Coquebert.	97.

EXPLICATION

DES COUPES ET DES FIGURES.

Nous donnons cinq coupes de terrains qui partent en divergent de l'église de Notre-Dame, considérée comme le centre de Paris et qui suivent des directions très-différentes. Elles présentent toutes les formations de terrains décrites dans notre essai. Elles se rapportent aux cinq lignes tracées sur notre carte, et qui portent à leur extrémité les mêmes numéros que les coupes.

Les lieux placés sur les coupes, mais qui ne se trouvent pas sur la coupe principale y ont été rapportés par une projection perpendiculaire, et y ont été placés à la véritable distance où ils sont de Paris. Les différens lieux situés les uns au devant des autres sont distingués par des traits plus pâles ou plus foncés, suivant qu'ils sont en arrière ou en avant de la ligne principale.

Il a fallu, afin de pouvoir rendre sensibles la position et la puissance des diverses formations et leurs subdivisions, prendre une échelle de hauteur beaucoup plus grande que celle des longueurs. La première est à la seconde à peu près dans le rapport de 35 à 1. Il en est résulté que nos plateaux semblent avoir des pentes très-roides et presque escarpées, et que nos buttes ressemblent à des pics ou à des aiguilles. C'est un inconvénient, mais on ne pouvoit l'éviter sans tomber dans l'inconvénient beaucoup plus grand, ou de ne pouvoir placer dans les collines les divers terrains qui les composent ou de donner à ces coupes une longueur démesurée et absolument inutile à notre objet.

La ligne de niveau la plus inférieure, celle sur laquelle est placée l'échelle des longueurs indique le niveau présumé de la mer. La seconde ligne, beaucoup plus foible, est celle du niveau du o du pont de la Tournelle. Nous avons rapporté sur cette ligne et dans leur position, par rapport à la ligne de coupe, les noms des lieux traversés par cette ligne, ou de ceux qui y sont rapportés.

Les coupes spéciales de divers lieux, placées à l'extrémité des grandes coupes dans les places vides qu'elles laissoient, n'ont aucun rapport avec ces coupes, ni pour la position ni pour l'échelle, Grignon seul excepté.

Pl. I. Fig. 1. Cette coupe idéale et générale représente la position de tous les terrains des environs de Paris supposés réunis dans une même colline, avec la manière dont ils sont figurés sur les coupes, et avec les couleurs qui peuvent servir à les distinguer et qui ont été employées à cet usage sur la carte.

Fig. 2. Coupe, n°. 1, de Longjumeau à Paris.

a. Plateau de Palaiseau.
b. Bois pétrifié en silex.
x. Silex compacte, jaspoïde et coquilles d'eau douce.
m. Marne argilleuse rouge.
g. Blocs de grès.
s. Sable.

Coupe n°. 2, de Paris au plateau de la forêt de Montmorency.

B Les détails placés ici indiquent la disposition générale et le niveau du terrain d'eau douce,

du grès marin, du grès sans coquille et du calcaire à Beauchamp, près de Pierrelaye au sud de la colline de Montmorency, à Ezainville et à Moiselle au nord de cette même colline et près de Mafliers, lorsqu'on descend de ce plateau dans la vallée de l'Oise près de Beaumont. La hauteur du grès est celle qui a été observée à Beauchamp.

Fig. 3. Coupe de Grignon. On a été obligé de la séparer, parce qu'elle eût allongé la coupe n°. 3, sans nécessité; mais elle est faite suivant l'échelle des coupes. L'argile, le sable et la craie y sont placés par supposition. On ne les voit pas à Grignon précisément.

Fig. 4. Coupe, n°. 3, de Grignon à Paris.

Le terrain d'eau douce de la Beauce est dans quelques parties de l'épaisseur indiquée ici.

Les lignes ponctuées qui vont des crayères de Meudon à la vallée de Saint-Nom, indiquent la pente de la vallée de Sèvres, montant vers le col où est situé le château de Versailles et celle de la vallée de Saint-Nom, descendant de ce col jusqu'à la Maudre. La pente de cette dernière est mise par supposition, ainsi que la hauteur des diverses formations qui y sont indiquées.

Fig. 5. Coupe de la forêt de Fontainebleau et de ses environs.

On a réuni dans cette coupe les divers terrains qui constituent le sol de la forêt de Fontainebleau et de ses environs. Elle n'a aucun rapport ni pour

la position ni pour les hauteurs avec la coupe n°. 4, à laquelle elle est accolée.

A. Calcaire et sable d'eau douce avec de nombreuses coquilles. (Bouron, etc.)

B. Marne argilleuse et sablonneuse.

C. Grès en bancs et en blocs écroulés, et sable sans coquilles.
C'. Cristaux rhomboïdaux de grès calcaires de Belle-Croix.
C''. Rocher détaché d'un banc de grès, et dont la surface de cassure se rapporte à celle de ce banc (au lieu dit *le Long Rocher.*)

D. Marne argilleuse et sélénite, représentant la formation gypseuse (Vaux le Penil, Basses-Loges, Melun au ruisseau de Nangis, etc.)

E. Calcaire siliceux sans coquilles, tenant la place du calcaire marin grossier.

F. Sable et argile plastique (Moret, butte de la pyramide, etc.)

G. Craie (Montreau, Nemours, etc.)

Fig. 6. Coupe, n°. 5, de Saint-Germain à Paris.
Le plateau de carrières-Saint-Denis est mis par supposition.

A. Les détails de la carrière de Neuilly indiqués ici, sont sur une échelle plus grande que le reste de cette coupe. Ils se rapportent à la description donnée, pag. 121, note 2.

B. Coupe particulière du terrain des environs de Chaumont et de Gisors, lieux éloignés de 65 et de 35 kilom. au N.-O. et l'O. de Paris. Elle est sur l'échelle des coupes.

Fig. 7. Coupe du calcaire marin dans la plaine de la Marre-Saulx-Marchais, à l'ouest du bois de Beyne, décrit pag. 130.

Nos. 9. Terre végétale et cérites.
8. Sable calcaire et prodigieuse quantité de cérites.
7. Calcaire friable, avec des morceaux irréguliers durs, saillans, et quelques coquilles mal conservées.
6. Calcaire sableux et immensité de coquilles variées.
5. Calcaire sableux et moins de coquilles.
4. Calcaire sableux, chlorite granulée et immensité de coquilles.
3. Terre argilo-sableuse rouge et coquilles différentes des précédentes, turritelles, vénéricardes, etc.
2. Terre argilo-sableuse rouge, pas une coquille.
1. Craie.

Fig. 8. Coupe de la descente du plateau calcaire à Maflier, près Beaumont-sur-Oise, décrite p. 84.

Nos. 1. Calcaire d'eau douce en fragmens.
2. Marne d'eau douce en feuillets horizontaux.
3. Petit lit de calcaire marin à coquilles brisées.
4. Sable sans coquilles.
5. Grès sans coquilles.
6. Calcaire dur mais sableux, renfermant des cérites.
7. Calcaire marin tendre, dit *lambourde*, renfermant un petit lit d'huitre. *h*.
8. Sable calcaire rougeâtre mêlé de chlorite.
9. Gros grains de quartz noir et rognons durs de calcaire spathique mêlé de chlorite.
10. Craie.

Fig. 9. Position présumée de l'argile plastique sur la craie dans la plaine d'Abondant, à l'est de la forêt de Dreux, pag. 65.

Fig. 10. Tranchée du canal de l'Ourcq, dans la butte des bois de Saint-Denis, forêt de Bondy, au delà de Sevran; lieu où l'on a trouvé les os d'éléphant, d'antilope, etc.

a. Terre végétale. 3 à 4 mètres dans quelques endroits qui ont été des fonds de marais.

b. Argile sableuse et sable jaune pur, contenant dans sa partie supérieure des limnées et des planorbes à peine fossiles..... environ 2 mètres.

c. Limon d'atterrissement noir et veiné de sable jaune..... environ 6 mètres.

C'est dans la partie inférieure de ce limon qu'on a trouvé les os fossiles d'éléphant et d'antilopes.

d. Argiles verte et jaune, alternant.

e. Marne argileuse blanche, renfermant des ménilites qui contiennent des coquilles d'eau douce fossiles et des gyrogonites.

Fig. 11. Disposition du gypse dans la carrière de Clignancourt, au nord de Montmartre.

A. Marnes du gypse.
B. Bancs du gypse de la première masse.
C. Déblais.
D. Terre végétale et déblais de marne.

Pl. II. Divers corps organisés fossiles des couches marines des environs de Paris.

Fig. 1, A, B, C, D, E, F, G empreintes de feuilles et de végétaux des lits supérieurs du calcaire marin grossier (mentionnés, pag. 22 et 126.).

Fig. 2. Turbinolite (genre formé d'une division des caryophyllites *Lam.* première grandeur, n°. 1, (indiquée par erreur, *fig.* 1, pag. 81) de Lalléry, près Chaumont, etc.

A. Réunion des lames grossie.

B. Face latérale d'une des lames de l'intérieur.

Fig. 3. Turbinolite, deuxième grandeur, ou n° 2, de Grignon.

Fig. 4. Turbilonite applatie ou n°. 3, de Grignon.

Fig. 5. Fungite de Meudon (pag. 23.)

A. dessus — B. dessous.

Fig. 6. Empreinte d'un corps articulé semblable à une plante, de Grignon. (pag. 24.)

Fig. 7. Cythérée bombée, n°. 1, des marnes supérieures du gypse.

A. Coquille — B. Moule intérieur.

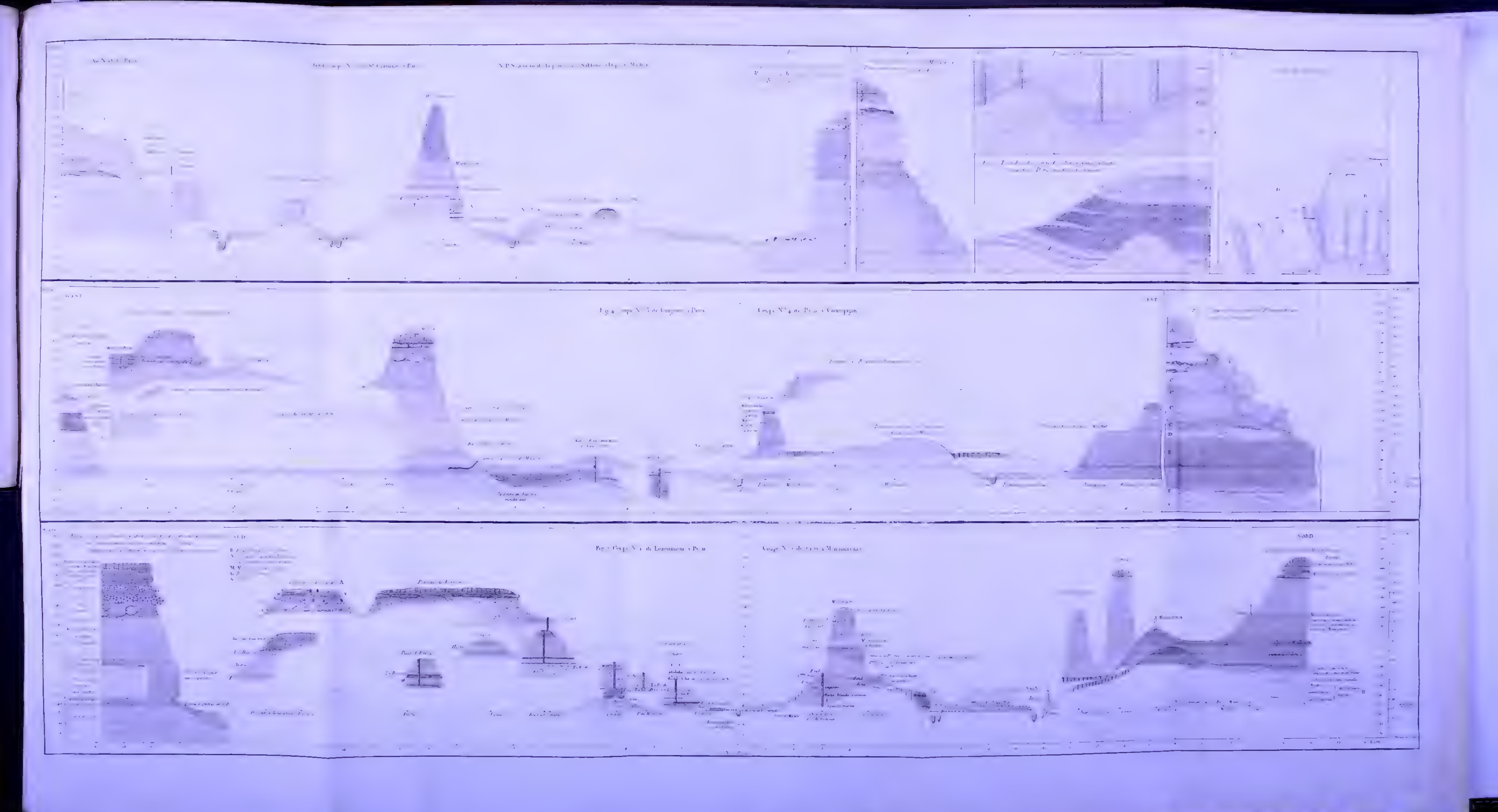
C. D. Cythérée bombée sur la Marne.

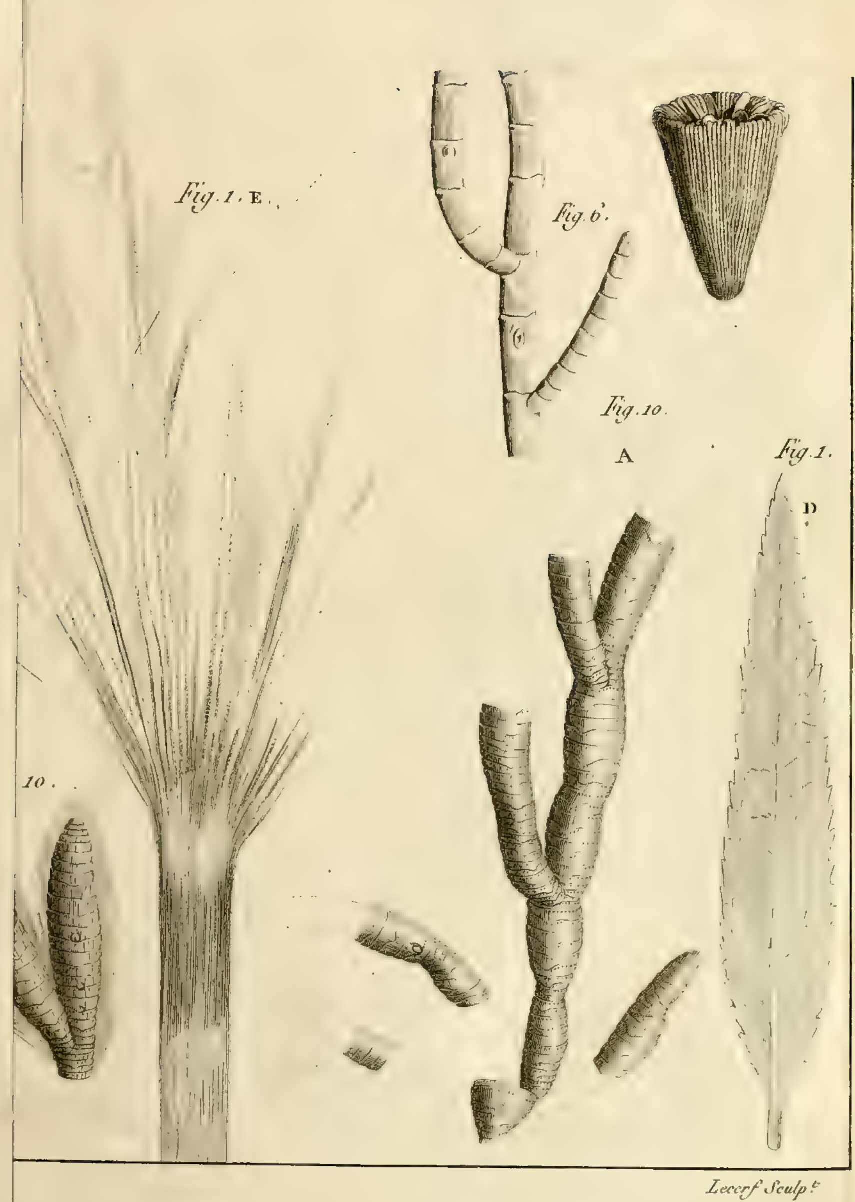
S. Spirorbe sur la même Marne.

Fig. 8. Cythérée plane, n°. 2.

(Mentionnée, pag. 41 et 155. A ce dernier endroit les numéros appliqués à chaque espèce ont été transposés par erreur d'une espèce à d'autre).

Maillot .	Gravier	1	N *Fig. 11.* *Carrière de Clignancourt .*	S	*Pl. I.*
	Sable	2			
	Argile	3			


SUD
NORD



ssiles des couches marines des environs de Paris.

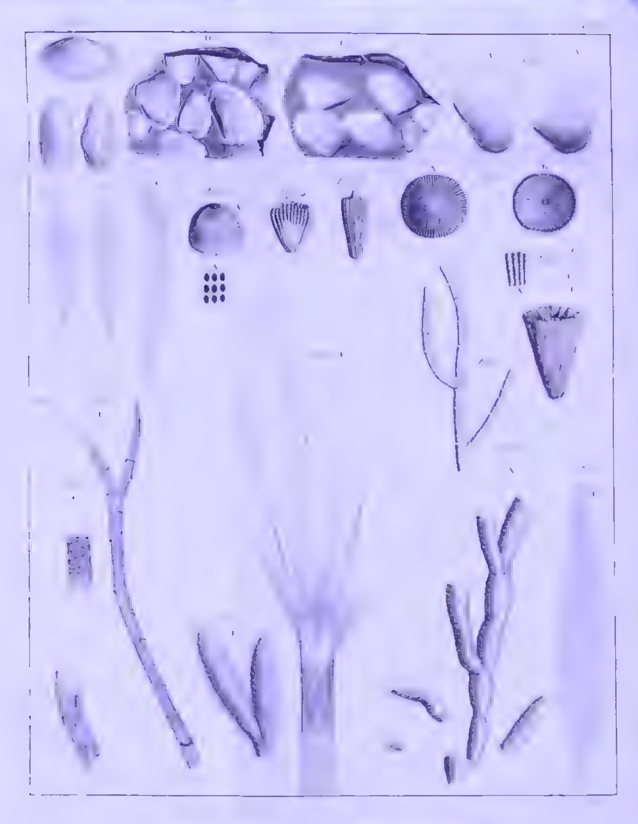


Fig. 9. Lunulites. Lam. de Chaumont et Grignon (mentionnés, pag. 95.)

A. Détail des pores.

a. Petit grain de quartz transparent qui se trouve constamment à la partie supérieure de ce corps marin. Il paroît que c'est le point d'appui à l'entour duquel la base du polypier a commencé à croître, car on le trouve sur les plus petits lunulites, qui sont plats et n'ont encore que 3 à 4 rangées de pores.

Fig. 10. Amphitoïte parisienne. Corps marin dont les empreintes se trouvent sur les marnes inférieures du gypse à la hutte-au-garde au N. O. de Montmartre et sur les pierres calcaires de la plaine de Montrouge, etc.

A. Tige rameuse.

B. Partie de la tige faisant voir les cils qui la garnissent.

Décrit et figuré par M. Desmarest fils. (Nouveau Bulletin des Sciences, tom. II, pl. 2, n°. 44).

C'est par erreur qu'il est indiqué *Fig.* 9, à la pag. 165.

LA CARTE GÉOGNOSTIQUE.

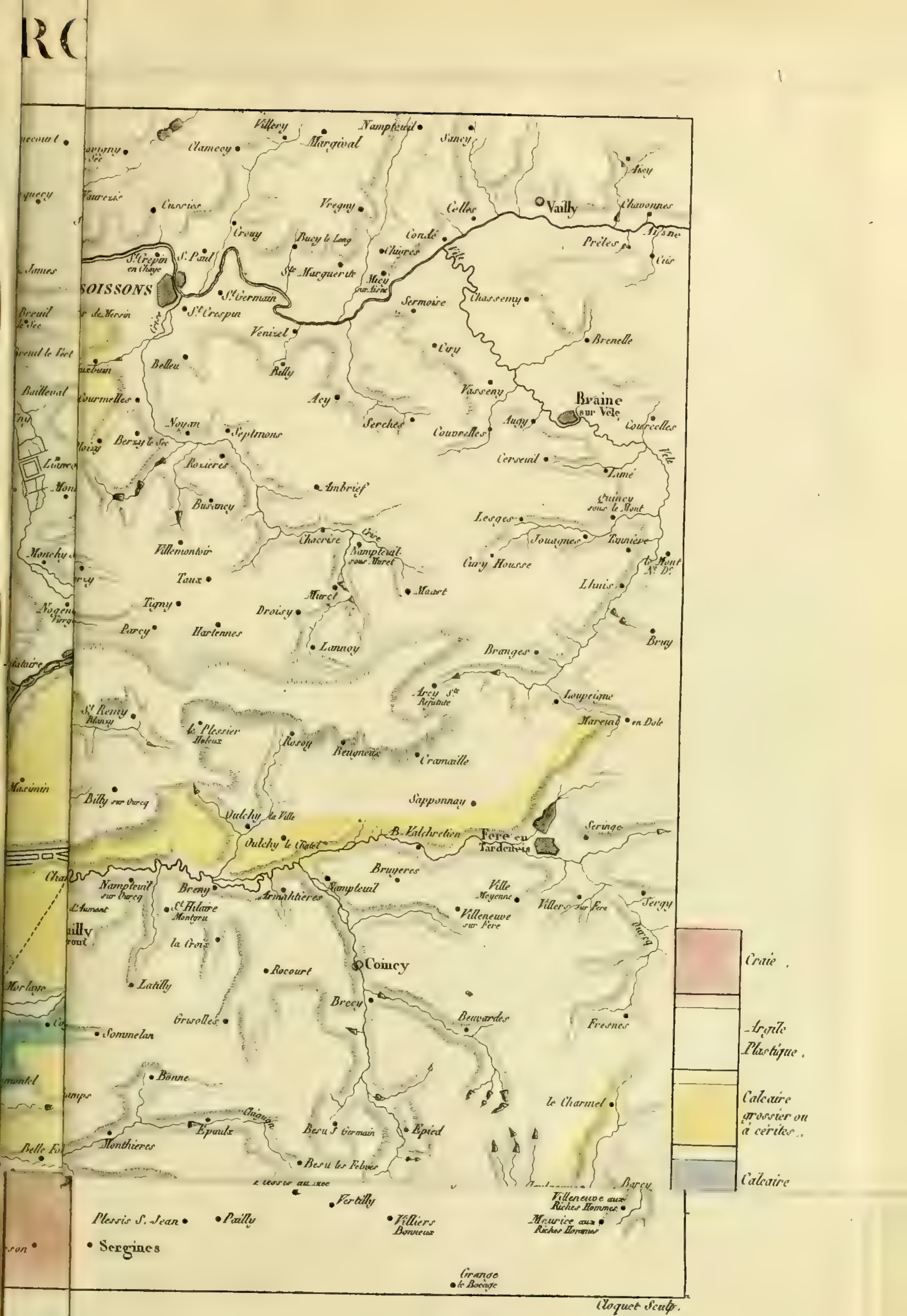
Cette carte embrasse, dans quelques directions, plus de terrain que nous n'en avons visité ; mais nous avons

voulu la mener jusqu'au bassin de craie à l'ouest, qui y a été marqué d'après les observations de M. Desmarest, membre de l'Institut, répétées dernièrement par M. son fils.

Notre carte a été dressée pour la partie géographique, sur celles de Cassini, sur la carte des chasses, sur celle de la Grive et de dom-Coutans. Nous avons dû supprimer tout ce qui auroit pu la charger de détails inutiles à notre objet; nous n'y avons placé que les communes, et parmi les hameaux, nous n'avons mis que ceux qui désignent quelques points importans, comme Grignon, Beauchamp, etc.

Les lignes ponctuées indiquent nos routes, c'est-à-dire les terrains que nous avons connus par nos propres observations. Les espaces intermédiaires ont été déterminés, ou d'après des renseignemens pris sur les lieux auprès des architectes et des exploitans de carrières, ou d'après ceux des savans qui, dans divers temps, ont parcouru ces contrées.

Les parties laissées en blanc et qui ne sont pas le sol d'atterrissement des rivières, sont celles sur lesquelles nous n'avons pas eu de renseignemens précis. Nous n'avons pas jugé convenable d'enluminer le sol d'atterrissement moderne, il est partout le même, et cela auroit surchargé la carte de couleurs et de travail inutiles.



Villery
Margival
Nampteuil
Sancy
Clamecy
Aisy
Vregny
Celles
Vailly
Chavonnes
Cuffies
Crouy
Bucy le Long
Condé
Prêles
Aisne
Chivres
St. Crepin en Chaye
S. Paul
Ste. Marguerite
Missy sur Aisne
Cys
SOISSONS
St. Germain
St. Crespin
Sermoise
Chassemy
Venizel
Brenelle
Billy
Ciry
Belleu
Acy
Vasseny
Courmelles
Braine sur Vele
Serches
Augy
Courcelles
Noyan
Septmons
Couvrelles
Berzy le Sec
Cerseuil
Roziers
Limé
Ambrief
Vele
Busancy
Quincy sous le Mont
Lesges
Chacrise
Jouaignes
Tannière
Nampteuil sous Muret
Villemontoir
Cury Housse
Mont Nr. Dme.
Taux
Muret
Maast
Lhuis
Tigny
Droisy
Parcy
Hartennes
Bruy
Lannoy
Branges
Arcy Ste. Restitute
Loupeigne
St. Remy Blanzy
Le Plessier Huleux
Rosoy
Mareuil en Dole
Beugneux
Cramaille
Billy sur Ourcq
Sapponnay
Oulchy la Ville
B. Valchretien
Oulchy le Chatel
Fère en Tardenois
Seringe
Nampteuil sur Ourcq
Breny
Bruyeres
Armentières
Nampteuil
Ville Moyenne
Villers sur Fere
Sergy
St. Hilaire Montgru
Villeneuve sur Fere
la Croix
Coincy
Rocourt
Latilly
Brecy
Grisolles
Beuvardes
Fresnes
Sommelan
Bonne
le Charmel
Epaulx
Besu St. Germain
Epied
Monthieres
Besu les Febves
Vertilly
Plessis S. Jean
Pailly
Villiers Bonneux
Villeneuve aux Riches Hommes
Maurice aux Riches Hommes
Sergines
Grange le Bocage
Barcy
Craie
Argile Plastique
Calcaire grossier ou à cérites
Calcaire
Cloquet Sculp.

CARTE GEOGNOSTIQUE des ENVIRONS de PARIS par MM. CUVIER et BRONGNIART 1810



MÉMOIRE
SUR
LES INTÉGRALES DÉFINIES,
ET LEUR APPLICATION AUX PROBABILITÉS,
Et spécialement à la recherche du milieu qu'il faut choisir entre les résultats des observations.

PAR M. LAPLACE.

J'AI donné, il y a environ trente ans, dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, la théorie des fonctions génératrices, et celle de l'approximation des formules qui sont fonctions de grands nombres. La première a pour objet, les rapports des coefficiens des puissances d'une variable indéterminée dans le développement d'une fonction de cette variable, à la fonction elle-même. De la simple considération de ces rapports, découlent avec une extrême facilité, l'interpolation des suites, leur transformation, l'intégration des équations aux différences ordinaires ou partielles, l'analogie des puissances et des différences, et généralement le transport des exposans des puissances, aux caractéristiques qui expriment la manière d'être des variables. La théorie des approximations des formules fonctions de très-grands nombres, est fondée sur l'expression des variables données par des équations aux différences, au moyen d'intégrales définies que l'on intègre par des approximations très-convergentes; et il y a cela de très-remarquable, savoir, que la quantité sous le signe intégral, est la

fonction génératrice de la variable exprimée par l'intégrale définie ; ensorte que les théories des fonctions génératrices et des approximations des formules fonctions de très-grands nombres, peuvent être considérées comme les deux branches d'un même calcul que je désigne par le nom de *calcul des fonctions génératrices*. Ce qu'Arbogast a nommé *Méthode de séparation des échelles d'opérations*, est renfermé dans la première partie du calcul des fonctions génératrices, qui donne à la fois la démonstration et la vraie métaphysique de cette méthode. Ce que Kramp et d'autres ont nommé *facultés numériques*, et ce qu'Euler a nommé *fonctions inexplicables*, se rattachent à la seconde partie, avec cet avantage, que ces facultés et ces fonctions inexplicables, mises sous la forme d'intégrales définies, présentent alors des idées claires, et sont susceptibles de toutes les opérations de l'analyse.

Le calcul des fonctions génératrices, s'étend aux différences infiniment petites ; car si l'on développe tous les termes d'une équation aux différences, par rapport aux puissances de la différence supposée indéterminée, mais infiniment petite ; et que l'on néglige les infiniment petits d'un ordre supérieur relativement à ceux d'un ordre inférieur ; on aura une équation aux différences infiniment petites, dont l'intégrale est celle de l'équation aux différences finies, dans laquelle on néglige pareillement les infiniment petits par rapport aux quantités finies.

Les quantités qu'on néglige dans ces passages du fini à l'infiniment petit, semblent ôter au calcul infinitésimal,

mal, la rigueur des résultats géométriques. Mais pour la lui rendre, il suffit d'envisager les quantités que l'on conserve dans le développement d'une équation aux différences finies et de son intégrale, par rapport aux puissances de la différence indéterminée, comme ayant toutes pour facteur, la plus petite puissance dont on compare entre eux les coefficiens. Cette comparaison étant rigoureuse, le calcul différentiel qui n'est évidemment que cette comparaison même, a toute la rigueur des autres opérations algébriques. Mais la considération des infiniment petits de différens ordres, la facilité de les reconnoître *à priori* par l'inspection seule des grandeurs, et l'omission des infiniment petits d'un ordre supérieur à celui que l'on conserve, à mesure qu'ils se présentent, simplifient extrêmement les calculs, et sont l'un des principaux avantages de l'analyse infinitésimale qui d'ailleurs, en réalisant les infiniment petits, et leur attribuant de très-petites valeurs, donne par une première approximation, les différences et les sommes des quantités.

Le passage du fini à l'infiniment petit, a l'avantage d'éclairer plusieurs points de l'analyse infinitésimale, qui ont été l'objet de grandes contestations parmi les Géomètres. C'est ainsi que dans les Mémoires de l'Académie des Sciences pour l'année 1779, j'ai fait voir que les fonctions arbitraires qu'introduit l'intégration des équations différentielles partielles, pouvoient être discontinues; et j'ai déterminé les conditions auxquelles cette discontinuité doit être assujétie. Les résultats transcendans de l'analyse, sont comme toutes les abstractions

de l'entendement, des signes généraux dont on ne peut déterminer la véritable étendue, qu'en remontant par l'analyse métaphysique, aux idées élémentaires qui y ont conduit, ce qui présente souvent de grandes difficultés; car l'esprit humain en éprouve moins encore à se porter en avant, qu'à se replier sur lui-même.

Il paroît que Fermat, le veritable inventeur du calcul différentiel, a considéré ce calcul comme une dérivation de celui des différences finies, en négligeant les infiniment petits d'un ordre supérieur, par rapport à ceux d'un ordre inférieur; c'est, du moins, ce qu'il a fait dans sa méthode *de maximis*, et dans celle des tangentes, qu'il a étendue aux courbes transcendantes. On voit encore par sa belle solution du problème de la réfraction de la lumière, en supposant qu'elle parvient d'un point à un autre dans le temps le plus court, et en concevant qu'elle se meut dans divers milieux diaphanes, avec différentes vitesses; on voit dis-je, qu'il savoit étendre son calcul aux fonctions irrationnelles, en se débarrassant des irrationnalités par l'élévation des radicaux aux puissances. Newton a depuis rendu ce calcul plus analytique dans sa Méthode des Fluxions, et il en a simplifié et généralisé les procédés, par l'invention de son théorême du binome: enfin presqu'en même temps, Leibnitz a enrichi le calcul différentiel, d'une notation très-heureuse, et qui s'est adaptée d'elle-même à l'extension que le calcul différentiel a reçue par la considération des différentielles partielles. La langue de l'analyse, la plus parfaite de toutes, étant par elle-même un puissant instrument de découvertes; ses notations, lorsqu'elles sont nécessaires

et heureusement imaginées, sont les germes de nouveaux calculs. Ainsi la simple idée qu'eut Descartes, d'indiquer les puissances des quantités représentées par des lettres, en écrivant vers le haut de ces lettres, les nombres qui expriment le degré de ces puissances, a donné naissance au calcul exponentiel; et Leibnitz a été conduit par sa notation, à l'analogie singulière des puissances et des différences. Le calcul des fonctions génératrices, qui donne la véritable origine de cette analogie, offre tant d'exemples de ce transport des exposans des puissances, aux caractéristiques; qu'il peut encore être considéré comme le calcul exponentiel des caractéristiques.

Le calcul des fonctions génératrices est le fondement d'une théorie que je me propose de publier bientôt sur les probabilités. Les questions relatives aux événemens dus au hasard, se ramènent le plus souvent avec facilité à des équations aux différences : la première branche de ce calcul, en fournit les solutions les plus générales et les plus simples. Mais lorsque les événemens que l'on considère, sont en très-grand nombre; les formules auxquelles on est conduit, se composent d'une si grande multitude de termes et de facteurs, que leur calcul numérique devient impraticable. Il est alors indispensable d'avoir une méthode qui transforme ces formules, en séries convergentes. C'est ce que la seconde branche du calcul des fonctions génératrices fait avec d'autant plus d'avantage, que la méthode devient plus nécessaire. Par ce moyen on peut déterminer avec facilité, les limites de la probabilité des résultats et des causes, indiqués

par les événemens considérés en grand nombre, et les lois suivant lesquelles cette probabilité approche de ses limites, à mesure que les événemens se multiplient. Cette recherche, la plus délicate de la théorie des hasards, mérite l'attention des géomètres par l'analyse qu'elle exige, et celle des philosophes, en faisant voir comment la régularité finit par s'établir dans les choses même qui nous paroissent entièrement livrées au hasard, et en nous dévoilant les causes cachées, mais constantes, dont cette régularité dépend.

La considération des intégrales définies par lesquelles les quantités sont représentées dans la théorie de l'approximation des formules fonctions de très-grands nombres, m'a conduit aux valeurs de plusieurs intégrales définies que j'ai données dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, *pour l'année* 1782, et qui offrent cela de remarquable, savoir qu'elles dépendent à-la-fois de ces deux transcendantes, le rapport de la circonférence au diamètre, et le nombre dont le logarithme hyperbolique est l'unité. J'ai obtenu ces valeurs par une analogie singulière, fondée sur les passages du réel à l'imaginaire, passages qui peuvent être considérés comme moyens de découvertes, dont les premières applications ont paru, si je ne me trompe, dans les Mémoires cités, et qui ont conduit aux valeurs de diverses intégrales définies dépendantes des sinus et cosinus. Mais ces moyens, comme celui de l'induction, quoique employés avec beaucoup de précaution et de réserve, laissent toujours à désirer des démonstrations directes de leurs résultats. M. Poisson vient d'en don-

ner plusieurs dans le *Bulletin de la Société Philomatique*, du mois de mars de cette année 1811. Je me propose ici de trouver directement toutes ces valeurs, et celles d'intégrales définies, plus générales encore, et qui me semblent pouvoir intéresser les géomètres.

La recherche de ces valeurs n'est point un simple jeu de l'analyse : elle est d'une grande utilité dans la théorie des probabilités. J'en fais ici l'application à trois problêmes de ce genre, qu'il seroit très-difficile de résoudre par d'autres méthodes. Le second de ces problêmes est remarquable en ce que sa solution offre le premier exemple de l'emploi du calcul aux différences infiniment petites partielles, dans les questions de probabilités. Le troisième problême est relatif au milieu qu'il faut choisir entre les résultats donnés par diverses observations : c'est l'un des plus utiles de toute l'analyse des hasards, et par cette raison, je le traite avec étendue : j'ose croire que mon analyse intéressera les géomètres.

Lorsque l'on veut corriger par l'ensemble d'un grand nombre d'observations, plusieurs élémens déjà connus à-peu-près ; on s'y prend de la manière suivante. Chaque observation étant une fonction des élémens, on substitue dans cette fonction leurs valeurs approchées, augmentées respectivement de petites corrections qu'il s'agit de connoître. En développant ensuite la fonction en série, par rapport à ces corrections, et négligeant leurs carrés et leurs produits, on égale la série à l'observation ; ce qui donne une première équation de condition entre les corrections des élémens. Une seconde observation fournit une équation de condition,

semblable, et ainsi du reste. Si les observations étoient rigoureuses, il suffiroit d'en employer autant qu'il y a d'élémens. Mais, vu les erreurs dont elles sont susceptibles, on en considère un grand nombre, afin de compenser les unes par les autres, ces erreurs, dans les valeurs des corrections que l'on déduit de leur ensemble. Mais de quelle manière faut-il combiner entre elles les équations de condition, pour avoir les corrections les plus précises ? C'est ici que l'analyse des probabilités peut être d'un grand secours. Toutes les manières de combiner ces équations, se réduisent à les multiplier chacune par un facteur particulier, et à faire une somme de tous ces produits : on forme ainsi une première équation finale entre les corrections des élémens. Un second système de facteurs donne une seconde équation finale, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'on ait autant d'équations finales que d'élémens dont on déterminera les corrections, en résolvant ces équations. Maintenant il est visible qu'il faut choisir les systèmes de facteurs, de sorte que l'erreur moyenne à craindre en *plus* ou en *moins* sur chaque élément, soit un *minimum*. J'entends par *erreur moyenne*, la somme des produits de chaque erreur par sa probabilité. En déterminant les facteurs par cette condition, l'analyse conduit à ce résultat remarquable, savoir, que si l'on prépare chaque équation de condition, de manière que son second membre soit zéro ; la somme des carrés des premiers membres est un *minimum*, en y faisant varier successivement chaque correction. Ainsi, cette méthode que MM. Le Gendre et Gauss ont proposée et qui jusqu'à présent, ne pré-

sentoit que l'avantage de fournir sans aucun tâtonnement, les équations finales nécessaires pour corriger les *élémens*, donne en même temps les corrections les plus précises.

I.

Sur les intégrales définies.

Considérons l'intégrale définie

$$\int \frac{dx\, c^{-ax}}{x^{\omega}} . \left(\cos.\, rx - \sqrt{-1}.\, \sin.\, rx\right), \text{ ou} \int \frac{dx.\, c^{-ax-rx.\sqrt{-1}}}{x^{\omega}},$$

cette intégrale étant prise depuis x nul jusqu'à x infini, et c étant le nombre dont le logarithme hyperbolique est l'unité. En réduisant $c^{-rx\sqrt{-1}}$, en série, elle devient

$$\int \frac{dx.c^{-ax}}{x^{\omega}} \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{r^2 x^2}{1.2} + \frac{r^4 x^4}{1.2.3.4.} - \frac{r^6 x^6}{1.2.3.4.5.6} + \text{etc.} \\ - rx\sqrt{-1}. \left\{ 1 - \frac{r^2 x^2}{1.2.3} + \frac{r^4 x^4}{1.2.3.4.5} + \text{etc.} \right\} \end{array} \right\};$$

or on a généralement, en prenant l'intégrale depuis x nul jusqu'à x infini,

$$\int x^{i-\omega}\, dx.\, c^{-ax} = \frac{(1-\omega).(2-\omega)\ldots\ldots(i-\omega)}{a^{i}} . \int \frac{dx.\, c^{-ax}}{x^{\omega}};$$

en faisant ensuite $ax = s$, on a

$$\int \frac{dx}{x^{\omega}} . c^{-ax} = \frac{1}{a^{1-\omega}} . \int \frac{ds}{s^{\omega}} . c^{-s};$$

l'intégrale relative à s étant prise depuis $s = 0$ jusqu'à s infini; en nommant donc k cette dernière intégrale, on aura

$$\int x^{i-\omega} .\, dx.\, c^{-ax} = \frac{(1-\omega).(2-\omega)\ldots.(i-\omega)}{a^{i+1-\omega}} .\, k;$$

d'où l'on tire

$$\int \frac{dx.c^{-ax}}{x^{\omega}} . \left(\cos. rx - \sqrt{-1}. \sin. rx \right) = \frac{k}{a^{1-\omega}} . \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{(1-\omega)(2-\omega)}{1.2} . \frac{r^2}{a^2} + \frac{(1-\omega).(2-\omega).(3-\omega).(4-\omega)}{1.2.3.4} . \frac{r^4}{a^4} - \text{etc.} \\ -\sqrt{-1}. \left\{ (1-\omega). \frac{r}{a} - \frac{(1-\omega).(2-\omega).(3-\omega)}{1.2.3} . \frac{r^3}{a^3} + \text{etc.} \right\} \end{array} \right\}$$

Si l'on fait $\frac{r}{a} = t$, le second membre de cette équation devient

$$\frac{k}{a^{1-\omega} . (1 + t\sqrt{-1})^{1-\omega}} .$$

Soit A un angle dont t est la tangente; on aura

$$\sin. A = \frac{t}{\sqrt{1+t^2}}; \quad \cos. A = \frac{1}{\sqrt{1+t^2}};$$

par conséquent

$$\cos. A - \sqrt{-1}. \sin. A = \frac{1 - t\sqrt{-1}}{\sqrt{1+t^2}} = \frac{\sqrt{1+t^2}}{1 + t\sqrt{-1}};$$

ce qui donne par le théorême connu

$$\cos. (1-\omega). A - \sqrt{-1}. \sin. (1-\omega). A = \frac{(1+t^2)^{\frac{1-\omega}{2}}}{(1+t\sqrt{-1})^{1-\omega}}$$

la tangente t est non-seulement la tangente de l'angle A, mais encore celle du même angle augmenté d'un multiple quelconque de la demi circonférence; mais le premier membre de cette équation, devant se réduire à l'unité, lorsque t est nul, il est clair que l'on doit prendre pour A le plus petit des angles positifs dont t est la tangente.

Maintenant cette équation donne, en y restituant $\frac{r}{a}$ au

au lieu de t,

$$\frac{k}{a^{1-\omega}\cdot(1+t\sqrt{-1})^{1-\omega}}=\frac{k}{(a^2+r^2)^{\frac{1-\omega}{2}}}\cdot\left\{\cos.(1-\omega).A-\sqrt{-1}.\sin(1-\omega).A\right\};$$

on a donc

$$\int\frac{dx.c^{-ax}}{x^{\omega}}\left\{\cos.rx-\sqrt{-1}.\sin.rx\right\}=\frac{k}{(a^2+r^2)^{\frac{1-\omega}{2}}}\cdot\left\{\cos.(1-\omega).A-\sqrt{-1}.\sin(1-\omega).A\right\}$$

En comparant séparément les quantités réelles et les imaginaires, on a ces deux équations

$$\int\frac{dx.\cos.rx.c^{-ax}}{x^{\omega}}=\frac{k}{(a^2+r^2)^{\frac{1-\omega}{2}}}\cdot\cos.(1-\omega).A;$$

$$\int\frac{dx.\sin.rx.c^{-ax}}{x^{\omega}}=\frac{k}{(a^2+r^2)^{\frac{1-\omega}{2}}}\cdot\sin(1-\omega).A.$$

Si a est nul, $\frac{r}{a}$ sera infini, et le plus petit angle dont il est la tangente sera $\frac{\pi}{2}$, π étant la demi circonférence dont le rayon est l'unité; on a donc

$$\int\frac{dx.\cos.rx}{x^{\omega}}=\frac{k}{r^{1-\omega}}\cos.\frac{(1-\omega)\pi}{2};$$

$$\int\frac{dx.\sin.rx}{x^{\omega}}=\frac{k}{r^{1-\omega}}\cdot\sin.\frac{(1-\omega)\pi}{2}.$$

Dans le cas de $\omega=\frac{1}{2}$; on a, en faisant $s^{\frac{1}{2}}=t$

$$k=\int\frac{ds}{s^{\frac{1}{2}}}\cdot c^{-s}=2\int dt.\,c^{-t^2}$$

les intégrales étant prises depuis s et t nuls, jusqu'à leurs

valeurs infinies. Ce dernier membre est $\sqrt{\pi}$; on a donc $k=\sqrt{\pi}$; si l'on suppose ensuite $r=1$, on aura

$$\int \frac{dx.\cos.x}{\sqrt{x}}=\sqrt{\frac{\pi}{2}}=\int \frac{dx.\sin.x}{\sqrt{x}}.$$

Euler est parvenu à toutes ces équations dans le tome IV de son *Calcul intégral*, publié en 1794, par la considération du passage du réel à l'imaginaire.

II.

Considérons présentement l'intégrale $\int dx.\cos.rx.c^{-a^2x^2}$, prise depuis x nul jusqu'à x infini. Si l'on nomme y cette intégrale, on aura

$$\frac{dy}{dr}=-\int x\,dx.\sin.rx.c^{-a^2x^2}=\frac{1}{2a^2}\sin.rx.c^{-a^2x^2}$$
$$-\frac{r}{2a^2}.\int dx.\cos.rx.c^{-a^2x^2};$$

on aura donc en prenant l'intégrale depuis x nul jusqu'à x infini,

$$\frac{dy}{dr}+\frac{r}{2a^2}.y=0$$

L'intégrale de cette équation est

$$y=B.c^{\frac{-r^2}{4a^2}}$$

B étant une constante arbitraire. Pour la déterminer on observera que si l'on fait r nul, $\cos.rx$ devient l'unité, et l'on a

$$y=\int dx.c^{-a^2x^2};$$

cette dernière intégrale est, comme on sait, égale à $\frac{\sqrt{\pi}}{2a}$; donc $B = \frac{\sqrt{\pi}}{2a}$; on a donc

$$\int dx.\, cos.\, rx.\, c^{-a^2x^2} = \frac{\sqrt{\pi}}{2a}.\; c^{\frac{-r^2}{4a^2}}$$

De là on tire

$$\int x^{2n}\, dx.\, cos.\, rx.\, c^{-a^2x^2} = \pm \frac{\sqrt{\pi}}{2a}.\frac{d^{2n}}{dr^{2n}}.\, c^{\frac{-r^2}{4a^2}}$$

le signe + ayant lieu si n est pair, et le signe — si n est impair. On aura pareillement en différentiant par rapport à r

$$\int x^{2n+1}.\, dx.\, sin.\, rx.\, c^{-a^2x^2} = \mp \frac{\sqrt{\pi}}{2a}.\frac{d^{2n+1}}{dr^{2n+1}}.\; c^{\frac{-r^2}{4a^2}}.$$

En intégrant une fois par rapport à r, l'expression de $\int dx.\, cos.\, rx.\, c^{-a^2x^2}$; on aura

$$\int \frac{dx.\, sin.\, rx}{x}.\, c^{-a^2x^2} = \frac{\sqrt{\pi}}{2a}.\int dr.\, c^{\frac{-r^2}{4a^2}}.$$

III.

Considérons encore la double intégrale

$$\iint 2\, dx.\, ydy.\, c^{-y^2(1+x^2)}.\, cos.\, rx$$

les intégrales étant prises depuis x et y nuls, jusqu'à x et y infinis. En l'intégrant d'abord par rapport à y, elle devient

$$\int \frac{dx.\, cos.\, rx}{1+x^2}.$$

Intégrons-la maintenant par rapport à x. On a par l'article précédent,

$$\int dx.\ \cos.\ rx.\ c^{-y^2x^2} = \frac{\sqrt{\pi}}{2y}.\ c^{\frac{-r^2}{4y^2}},$$

ce qui donne

$$\iint 2\,ydy.\ dx.\ \cos.\ rx.\ c^{-y^2(1+x^2)} = \sqrt{\pi}.\int dy.\ c^{-y^2-\frac{r^2}{4y^2}} = \sqrt{\pi}.\ c^{r}.\int dy.\ c^{-\left(\frac{2y^2+r}{2y}\right)^2}$$

r étant supposé positif, la quantité $\left(\frac{2y^2+r}{2y}\right)^2$, a un *minimum* qui répond à $y = \sqrt{\frac{r}{2}}$; ce qui donne $2r$ pour ce *minimum;* soit donc

$$y = \tfrac{1}{2}z + \tfrac{1}{2}.\sqrt{z^2+2r};$$

y devant s'étendre depuis $y = 0$ jusqu'à $y = \infty$, z doit s'étendre depuis $z = -\infty$ jusqu'à $z = \infty$. Cette valeur de y donne

$$dy = \tfrac{1}{2}dz + \tfrac{1}{2}.\frac{zdz}{\sqrt{z^2+2r}}.$$

En prenant les intégrales depuis $z = -\infty$, jusqu'à $z = \infty$, on a

$$\int dz.\ c^{-z^2} = \sqrt{\pi};\ \int \frac{z\,dz.\ c^{-z^2}}{\sqrt{z^2+2r}} = 0;$$

on a donc

$$\sqrt{\pi}.\ c^r.\int dy.\ c^{-\left(\frac{2y^2+r}{2y}\right)^2} = \sqrt{\pi}.\ c^r.\int dy.\ c^{-z^2-2r} = \frac{\pi.\ c^{-r}}{2};$$

partant

$$\int \frac{dx.\ \cos.\ rx}{1+x^2} = \frac{\pi}{2.\ c^r}.$$

En différentiant par rapport à r, on a

$$\int \frac{x dx . \sin . rx}{1+x^2} = \frac{\pi}{2 c^r};$$

ce qui donne

$$\int \frac{dx . \{ \cos . rx + x . \sin . rx \}}{1+x^2} = \frac{\pi}{c^r};$$

en faisant $r = 1$, on aura le théorême que j'ai donné dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1782, page 59.

Si l'on fait $rx = t$, on aura

$$\int \frac{dx . \cos . rx}{1+x^2} = \int \frac{r dt . \cos . t}{r^2+t^2};$$

partant

$$\int \frac{dt . \cos . t}{r^2+t^2} = \frac{\pi . c^{-r}}{2r},$$

l'intégrale étant prise depuis t nul jusqu'à t infini. Soit $r^2 = q$; on aura en différentiant $i-1$ fois par rapport à q l'équation précédente, et restituant pour t sa valeur rx,

$$\int \frac{dx . \cos . rx}{(1+x^2)^i} = \frac{(-1)^{i-1} . q^{i-\frac{1}{2}}}{1.2.3 \ldots (i-1)} . \frac{\pi}{2} . \frac{d^{i-1} . \left(\frac{c^{-\sqrt{q}}}{\sqrt{q}} \right)}{dq^{i-1}};$$

on pourra donc intégrer généralement depuis x nul jusqu'à x infini, la différentielle

$$\frac{(A + B . x^2 + C . x^4 \ldots\ldots + H x^{2i-2}) . dx . \cos . rx}{(1+x^2)^i};$$

car en mettant un terme quelconque, tel que $F x^{2n}$ sous la forme $F(1+x^2-1)^n$, et en le développant suivant les puissances de $1+x^2$, on réduira la différentielle précédente, dans une suite de différentielles de la forme

$\frac{k dx. \cos. rx}{(1+x^2)^n}$, et qui seront intégrables par ce qui précède; on aura donc ainsi en fonction de r, l'intégrale de la différentielle précédente. On pourra même au lieu de $\cos. rx$, y substituer une puissance entière et positive de ce cosinus; parce que cette puissance se décompose en cosinus de l'angle et de ses multiples. Nommons R la fonction de r, dont il s'agit; on aura en différentiant par rapport à r cette intégrale,

$$\int x dx. \sin. rx. \frac{\{A+B.x^2+C.x^4 \ldots\ldots +H.x^{2i-2}\}}{(1+x^2)^i} = -\frac{dR}{dr}.$$

En l'intégrant par rapport à r, après l'avoir multipliée par dr, on aura

$$\int dx. \sin. rx. \frac{\{A+B.x^2+C.x^4 \ldots\ldots +H.x^{2i-2}\}}{x.(1+x^2)^i} = \int R dr;$$

l'intégrale étant prise par rapport à r depuis $r=0$.

On peut, au moyen des passages du réel à l'imaginaire, facilement conclure de la valeur de l'intégrale $\int \frac{dx. \cos. rx}{1+x^2}$ prise depuis x nul jusqu'à x infini, la valeur de l'intégrale $\int \frac{M}{N}. dx. \cos. rx$, étendue dans les mêmes limites; M et N étant des fonctions rationelles et entières de x^2, telles que le dénominateur N soit d'un plus haut degré que M, et n'ait aucun facteur réel en x, du premier degré. Dans ce cas, la fraction $\frac{M}{N}$ est décomposable en fractions de la forme $\frac{A}{1+6^2x^2}$, A et 6 étant réels ou imaginaires. Or on a, en faisant $6x = x'$ et $\frac{r}{6} = r'$,

$$A.\int \frac{dx.\cos.rx}{1+\text{ϐ}^2x^2}=\frac{A}{\text{ϐ}}.\int \frac{dx'.\cos.r'x'}{1+x'^2};$$

en donnant donc généralement à cette dernière intégrale, la valeur qu'elle a dans le cas de x' réel, et qui par ce qui précède, est égale à $\frac{\pi}{2}.c^{-r'}$, on aura

$$A.\int \frac{dx.\cos.rx}{1+\text{ϐ}^2x^2}=\frac{A\pi}{2\text{ϐ}}.c^{-\frac{r}{\text{ϐ}}}.$$

$\frac{1}{\text{ϐ}}$ est la racine carrée de $\frac{1}{\text{ϐ}^2}$, et cette racine est également $-\frac{1}{\text{ϐ}}$; mais l'intégrale $\int \frac{M}{N}.dx.\cos.rx$ ne devenant jamais infinie dans le cas même de r infini, et de plus $\cos.rx$ ne changeant point, en y changeant le signe de r; il est clair que l'on doit choisir celle des deux racines $\frac{1}{\text{ϐ}}$ et $-\frac{1}{\text{ϐ}}$, dont la partie réelle est positive. On trouve ainsi, par exemple,

$$\int \frac{dr.\cos.rx}{1+x^4}=\frac{\pi}{2\sqrt{2}}.c^{\frac{-r}{\sqrt{2}}}.\left\{\cos.\frac{r}{\sqrt{2}}+\sin.\frac{r}{\sqrt{2}}\right\}.$$

IV.

Application de l'analyse précédente aux probabilités.

Appliquons l'analyse précédente à la théorie des probabilités. Pour cela, considérons deux joueurs A et B, dont les adresses soient égales, et jouant ensemble de manière que B ait primitivement r jetons; qu'à chaque coup qu'il perd, il donne un de ses jetons au joueur A,

et qu'à chaque coup qu'il gagne, il en reçoive un du joueur A qui est supposé en avoir un nombre infini. Le jeu continue jusqu'à ce que le joueur A ait gagné tous les jetons de B. Cela posé, r étant un grand nombre, on demande en combien de coups on peut parier un contre un, ou deux contre un, ou trois contre deux, etc., que le joueur A aura gagné la partie.

Nous allons d'abord établir que la partie doit finir. Pour cela, soit y_r la probabilité qu'elle finira. Après le premier coup, cette probabilité est ou y_{r+1}, ou y_{r-1}, suivant que le joueur A gagne ou perd ce coup; on a donc

$$y_r = \tfrac{1}{2}.y_{r+1} + \tfrac{1}{2}.y_{r-1}.$$

L'intégrale de cette équation aux différences est

$$y_r = a + br$$

a et b étant des constantes arbitraires. J'observe d'abord que la constante b doit être nulle, autrement y_r croîtroit indéfiniment; ce qui ne peut être, puisqu'il ne peut jamais dépasser l'unité. De plus y_r est 1 lorsque $r = 0$, car alors B n'ayant plus de jetons, la partie est finie; donc

$$y_r = 1.$$

Cherchons maintenant la probabilité que la partie sera finie avant ou au coup x. En nommant $y_{r,x}$ cette probabilité, on aura

$$y_{r,x} = \tfrac{1}{2}.y_{r+1,\,x-1} + \tfrac{1}{2}.y_{r-1,\,x-1}$$

Il faut intégrer cette équation aux différences finies partielles,

tielles, en remplissant les conditions suivantes, 1° que $y_{r,x}$ soit nul, lorsque x est moindre que r; 2°. qu'il soit égal à l'unité, lorsque r est nul. Ces deux conditions étant remplies, l'équation précédente aux différences donne toutes les valeurs de $y_{r,x}$ quels que soient r et x. Présentement, l'expression suivante de $y_{r,x}$ satisfait à ces conditions, et à l'équation aux différences partielles; d'où il suit qu'elle exprime la vraie valeur de $y_{r,x}$,

$$y_{r,x} = 1 - \frac{2}{\pi} . \int \frac{d\varphi . \sin . r\varphi . (\cos . \varphi)^{r+2i+1}}{\sin . \varphi}$$

l'intégrale étant prise depuis φ nul jusqu'à $\varphi = \frac{\pi}{2}$.

x est égal à $r + 2i$; en effet, il ne peut être que r, ou ce même nombre augmenté d'un nombre pair; car le nombre de parties jouées doit être égal à r, ou le surpasser d'un nombre pair, puisque A ne peut gagner la partie, qu'il ne gagne le nombre r des jetons de B, plus ceux qu'il a perdus, et il faut pour cela deux parties pour chaque jeton, l'une pour le perdre et l'autre pour le gagner. Je ne donnerai point l'analyse qui m'a conduit à l'expression précédente : je me contenterai de faire voir qu'elle satisfait à l'équation aux différences partielles, et aux conditions prescrites ci-dessus. D'abord, en la substituant dans l'équation aux différences partielles, on a

$$\int \frac{d\varphi . \sin . r\varphi . (\cos . \varphi)^{x+1}}{\sin . \varphi} = \int \frac{d\varphi . (\cos . \varphi)^{x}}{\sin . \varphi} . \left(\tfrac{1}{2} . \sin . (r+1)\varphi + \tfrac{1}{2} . \sin . (r-1) . \varphi \right);$$

équation évidente. De plus si l'on fait r nul, l'expression précédente de $y_{r,x}$ devient l'unité. Enfin si l'on fait i négatif, elle se réduit à zéro. En effet on a

$$\frac{\sin.r\varphi}{\sin.\varphi}=\frac{c^{r\varphi\sqrt{-1}}-c^{-r\varphi\sqrt{-1}}}{c^{\varphi\sqrt{-1}}-c^{-\varphi\sqrt{-1}}}=c^{(r-1)\varphi.\sqrt{-1}}+c^{(r-3).\varphi\sqrt{-1}}\ldots+c^{-(r-3)\varphi.\sqrt{-1}}+c^{-(r-1)\varphi.\sqrt{-1}}$$

De plus $(\cos.\ \varphi)^{r-2i+1}$ est égal à

$$\frac{\left(c^{\varphi\sqrt{-1}}+c^{-\varphi\sqrt{-1}}\right)^{r-2i+1}}{2^{r-2i+1}}$$

En développant cette fonction, et multipliant ce développement par celui de $\frac{\sin.r\varphi}{\sin.\varphi}$, chaque terme du premier développement donnera dans le produit, un terme indépendant de φ; la somme de tous ces termes sera donc $\frac{(1+1)^{r-2i+1}}{2^{r-2i+1}}$, ou l'unité; et en multipliant cette somme par $\frac{2}{\pi}.\int d\varphi$, l'intégrale étant prise depuis $\varphi=0$ jusqu'à $\varphi=\frac{\pi}{2}$, le produit sera l'unité. Les autres termes du produit des deux développemens précédens, seront des cosinus de 2φ, 4φ, etc., et l'intégrale de leurs produits par $d\varphi$, sera nulle. On a donc $y_{r,x}=0$, lorsque i est négatif.

Supposons maintenant que r et i soient de grands nombres. Le *maximum* de la fonction

$$\frac{\varphi.(\cos.\varphi)^{r+2i+1}}{\sin.\varphi}$$

répond à $\varphi=0$, ce qui donne 1 pour ce *maximum*. La fonction décroît ensuite avec une très-grande rapidité, et dans l'intervalle où elle a une valeur sensible, on peut supposer

$$\log.\sin.\varphi=\log.\varphi+\log.(1-\tfrac{1}{6}\varphi^2)=\log.\varphi-\tfrac{1}{6}\varphi^2;$$

$$\log.(\cos.\varphi)^{r+2i+1}=(r+2i+1)\log.(1-\tfrac{1}{2}\varphi^2+\tfrac{1}{24}.\varphi^4)=-\frac{(r+2i+1)}{2}\varphi^2-\frac{(r+2i+1)}{12}.\varphi^4;$$

ce qui donne en négligeant les sixièmes puissances de φ, et ses quatrièmes puissances qui ne sont pas multipliées par $r+2i+1$,

$$log. \left\{ \frac{(cos.\,\varphi)^{r+2i+1}}{sin.\,\varphi} \right\} = -log.\,\varphi - \frac{(r+2i+\frac{2}{3})}{2}.\varphi^2 - \frac{(r+2i+\frac{2}{3})}{12}.\varphi^4$$

En faisant donc

$$a^2 = \frac{r+2i+\frac{2}{3}}{2};$$

on aura

$$\frac{(cos.\,\varphi)^{r+2i+1}}{sin.\,\varphi} = \frac{\left(1-\frac{a^2}{6}.\varphi^4\right)}{\varphi}.c^{-a^2\varphi^2};$$

par conséquent

$$\int \frac{d\varphi.\,sin.\,r\varphi.\,(cos.\,\varphi)^{r+2i+1}}{sin.\,\varphi} = \int \frac{d\varphi.\left(1-\frac{a^2}{6}.\varphi^4\right)}{\varphi}.\,sin.\,r\varphi.\,c^{-a^2\varphi^2}.$$

Cette dernière intégrale peut être prise depuis $\varphi=0$ jusqu'à φ infini; car elle doit être prise depuis $\varphi=0$ jusqu'à $\varphi=\frac{1}{2}\pi$; or a^2 étant un nombre considérable, $c^{-a^2\varphi^2}$ devient excessivement petit, lorsqu'on y fait $\varphi=\frac{1}{2}\pi$, ensorte qu'on peut le supposer nul, vu l'extrême rapidité avec laquelle cette exponentielle diminue lorsque φ augmente. Maintenant on a

$$\frac{d}{dr}\int \frac{d\varphi.\left(1-\frac{a^2}{6}.\varphi^4\right)}{\varphi}.\,sin.\,r\varphi.\,c^{-a^2\varphi^2} = \int d\varphi.\left(1-\frac{a^2}{6}\varphi^4\right).c^{-a^2\varphi^2}.cos\,r\varphi$$

on a d'ailleurs par l'article II,

$$\int d\varphi.\,cos.\,r\varphi.\,c^{-a^2\varphi^2} = \frac{\sqrt{\pi}}{2a}.\,c^{\frac{-r^2}{4a^2}}$$

$$\int \varphi^4.\,d\varphi.\,cos.\,r\varphi.\,c^{-a^2\varphi^2} = \frac{\sqrt{\pi}}{2a}.\frac{d^4.\,c^{\frac{-r^2}{4a^2}}}{dr^4} = \frac{3\sqrt{\pi}}{8a^5}.c^{\frac{-r^2}{4a^2}}.\left\{1-\frac{r^2}{a^2}+\frac{r^4}{12a^4}\right\}$$

d'où l'on tire en supposant

$$\frac{r^2}{4a^2} = t^2;$$

$$\int \frac{d\varphi.\ \sin.\ r\varphi.\ (\cos.\ \varphi)^{r+2i+1}}{\sin.\ \varphi} \quad \sqrt{\pi}.\left\{\begin{array}{l} \int dt.\ c^{-t^2} \\ -\frac{t.\ c^{-t^2}}{8a^2}.\left(1-\frac{2}{3}t^2\right) \end{array}\right\};$$

ainsi la probabilité que A gagnera la partie dans un nombre $r+2i$ de coups, est

$$1-\frac{2}{\sqrt{\pi}}.\left\{\int dt.\ c^{-t^2} - \frac{T.\ c^{-T^2}}{8a^2}.\left(1-\frac{2}{3}T^2\right)\right\};$$

l'intégrale étant prise depuis t nul jusqu'à $t = T$, T^2 étant égal à $\frac{r^2}{4a^2}$.

Si l'on cherche le nombre de coups dans lesquels on peut parier un contre un, que cela aura lieu; on fera cette probabilité égale à $\frac{1}{2}$, ce qui donne

$$\int dt.\ c^{-t^2} = \frac{\sqrt{\pi}}{4} + \frac{T.\ c^{-T^2}}{8a^2}.\left(1-\frac{2}{3}T^2\right).$$

Nommons T' la valeur de t qui correspond à l'équation

$$\int dt.\ c^{-t^2} = \frac{\sqrt{\pi}}{4};$$

et supposons $T = T' + q$, q étant de l'ordre $\frac{1}{a^2}$. L'intégrale $\int dt.\ c^{-t^2}$ sera augmentée à très-peu près de $q.\ c^{-T'^2}$; ce qui donne

$$q.\ c^{-T'^2} = \frac{T'\ c^{-T'^2}}{8a^2}.\left(1-\frac{2}{3}T'^2\right);$$

on aura donc

$$T^2 = T'^2 + \frac{T'^2}{4a^2}\left(1 - \tfrac{2}{3} T'^2\right).$$

Ayant ainsi T^2 aux quantités près de l'ordre $\frac{1}{a^4}$, on aura aux quantités près de l'ordre $\frac{1}{a^2}$, en vertu de l'équation

$$2a^2 = r + 2i + \tfrac{1}{3} = \frac{r^2}{2T^2},$$

la suivante

$$r + 2i = \frac{r^2}{2T'^2} - \frac{7}{6} + \frac{2}{3}.\ T'^2.$$

Pour déterminer la valeur de T'^2, nous observerons qu'ici T' est plus petit que $\frac{1}{2}$; ainsi l'équation transcendante et intégrale

$$\int dt.\ c^{-t^2} = \frac{\sqrt{\pi}}{4}$$

peut être transformée dans la suivante

$$T' - \frac{1}{3}.\ T'^3 + \frac{1}{1.2}.\frac{1}{5}.\ T'^5 - \frac{1}{1.2.3}.\frac{1}{7}.\ T'^7 + \text{etc.} = \frac{\sqrt{\pi}}{4}.$$

En résolvant cette équation, on trouve

$$T'^2 = 0,2102497.$$

Ainsi en supposant $r = 100$, on aura

$$r + 2i = 23780,14;$$

il y a donc alors du désavantage à parier un contre un que A gagnera la partie dans 23780 coups; mais il y a de l'avantage à parier qu'il la gagnera dans 23781 coups.

V.

Considérons deux urnes A et B, renfermant chacune, le même nombre n de boules; et supposons que dans le nombre total $2n$ de boules, il y en ait autant de blanches que de noires. Concevons que l'on tire en même temps une boule, de chaque urne; et qu'ensuite on mette dans une urne, la boule extraite de l'autre. Supposons que l'on répète cette opération, un nombre quelconque r de fois, en agitant à chaque fois les urnes, pour en bien mêler les boules; et cherchons la probabilité qu'après ce nombre r d'opérations, il y aura x boules blanches dans l'urne A.

Soit $z_{x,r}$ cette probabilité. n^{2r} est le nombre des combinaisons possibles dans r opérations; car à chaque opération, les boules de l'urne A peuvent se combiner avec chacune des n boules de l'urne B, ce qui produit n^2 combinaisons; $n^{2r} z_{x,r}$ est donc le nombre des combinaisons dans lesquelles il peut y avoir x boules blanches dans l'urne A, après ces opérations. Maintenant, il peut arriver que l'opération $(r+1)^{\text{ième}}$ fasse sortir une boule blanche, de l'urne A, et y fasse rentrer une boule blanche : le nombre des cas dans lesquels cela peut arriver, est le produit de $n^{2r} z_{x,r}$ par le nombre x des boules blanches de l'urne A, et par le nombre $n-x$ des boules blanches qui doivent être alors dans l'urne B, puisque le nombre total des boules blanches des deux urnes, est n : dans tous ces cas, il reste x boules

blanches dans l'urne A; le produit $x.(n-x).n^{2r}z_{x,r}$ est donc une des parties $n^{2r+2}z_{x,r+1}$.

Il peut arriver encore que l'opération $(r+1)^{\text{ième}}$ fasse sortir et entrer dans l'urne A, une boule noire; ce qui conserve dans cette urne, x boules blanches; ainsi $n-x$ étant après l'opération $r^{\text{ième}}$, le nombre des boules noires de l'urne A, et x étant celui des mêmes boules dans l'urne B; on voit par le raisonnement précédent, que $(n-x).x.n^{2r}.z_{x,r}$ est encore une partie de $n^{2r+2}z_{x,r+1}$.

S'il y a $x-1$ boules blanches dans l'urne A, après l'opération $r^{\text{ième}}$, et que l'opération suivante en fasse sortir une boule noire, et y fasse rentrer une boule blanche; il y aura x boules blanches, dans l'urne A à l'opération $(r+1)^{\text{ième}}$. Le nombre des cas dans lesquels cela peut avoir lieu, est le produit de $n^{2r}z_{x,r+1}$ par le nombre $n-x+1$ des boules noires de l'urne A, après l'opération $r^{\text{ième}}$, et le nombre $n-x+1$ des boules blanches de l'urne B, après la même opération; $(n-x+1)^2.n^{2r}.z_{x-1,r}$ est donc encore une partie de $n^{2r+2}.z_{x,r+1}$.

Enfin, s'il y a $x+1$ boules blanches dans l'urne A, après l'opération $r^{\text{ième}}$, et que l'opération suivante en fasse sortir une boule blanche, et y fasse rentrer une boule noire; il y aura encore après cette dernière opération, x boules blanches dans l'urne. Le nombre des cas dans lesquels cela peut arriver, est le produit de $n^{2r}.z_{x+1,r}$ par le nombre $x+1$ des boules blanches de l'urne A, et par le nombre $x+1$, des boules noires de l'urne B; $(x+1)^2.n^{2r}.z_{x+1,r}$ est donc encore une

partie de $n^{2r+2}. z_{x,r+1}$. En réunissant toutes ces parties, et en égalant leur somme à $n^{2r+2}. z_{x,r+1}$, on aura l'équation aux différences finies partielles,

$$z_{x,r+1} = \left(\frac{x+1}{n}\right)^2 \cdot z_{x+1,r} + \frac{2x}{n} \cdot \left(1-\frac{x}{n}\right) \cdot z_{x,r} + \left(1-\frac{(x-1)}{n}\right)^2 z_{x-1,r}$$

Quoique cette équation soit différentielle du second ordre par rapport à la variable x, son intégrale ne renferme qu'une fonction arbitraire qui dépend de la probabilité des diverses valeurs de x dans l'état initial des urnes. En effet, il est visible que si l'on connoît les valeurs de $z_{x,0}$ correspondantes à toutes les valeurs de x, depuis $x = 0$ jusqu'à $x = n$, l'équation précédente donne toutes les valeurs de $z_{x,1}$, $z_{r,2}$, etc.; en observant que les valeurs négatives de x étant impossibles, $z_{x,r}$ est nul, lorsque x est négatif.

Lorsque x est un très-grand nombre, cette équation se transforme dans une équation aux différences infiniment petites partielles, que l'on obtient ainsi. On a alors à très-peu près

$$z_{x+1,r} = z_{x,r} + \left(\frac{d.z_{r,r}}{dx}\right) + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{d^2.z_{r,r}}{dx^2}\right);$$

$$z_{x-1,r} = z_{x,r} - \left(\frac{d\,z_{x,r}}{dx}\right) + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{d^2 z_{r,r}}{dx^2}\right);$$

$$z_{x,r+1} = z_{x,r} + \left(\frac{d\,z_{x,r}}{dr}\right).$$

Soit

$$x = \frac{n+\mu\sqrt{n}}{2};\ r = n\,r';\ z_{x,r} = U;$$

l'équation

l'équation précédente aux différences partielles deviendra en négligeant les termes de l'ordre $\frac{1}{n^2}$,

$$\left(\frac{dU}{dr'}\right) = 2\,U + 2\,\mu.\left(\frac{dU}{d\mu}\right) + \left(\frac{d^2U}{d\mu^2}\right).$$

Pour intégrer cette équation qui, comme on peut s'en assurer par la méthode que j'ai donnée pour cet objet, dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences* de l'année 1773, n'est intégrable en termes finis, qu'au moyen d'intégrales définies; faisons

$$U = \int \varphi\, dt.\, c^{-\mu t}$$

φ étant une fonction de t et de r'; on aura

$$2\,\mu\left(\frac{dU}{d\mu}\right) = 2c^{-\mu t}.\,t\varphi - 2\int c^{-\mu t}.\,(\varphi\,dt + t\,d\varphi)$$

$$\left(\frac{ddU}{d\mu^2}\right) = \int c^{-\mu t}.\,t^2.\,\varphi.\,dt;$$

l'équation aux différences partielles en U, devient ainsi:

$$\int c^{-\mu t}.\left(\frac{d\varphi}{dr'}\right)dt = 2\,c^{-\mu t}.\,t\varphi + \int c^{-\mu t}.\,dt.\left\{t^2\varphi - 2t.\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)\right\}$$

En égalant entre eux les termes affectés du signe $\int$, conformément à la méthode que j'ai donnée dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences* de 1782; on aura l'équation aux différences partielles

$$\left(\frac{d\varphi}{dr'}\right) = t^2\,\varphi - 2t.\left(\frac{d\varphi}{dt}\right);$$

et le terme hors du signe $\int$, égalé à zéro, donnera pour l'équation aux limites de l'intégrale,

$$o = t\varphi . c^{-\mu t}$$

L'intégrale de l'équation précédente aux différences partielles est

$$\varphi = c^{\frac{1}{4}t^2} . \psi\left(\frac{t}{c^{2r'}}\right)$$

$\psi\left(\frac{t}{c^{2r'}}\right)$ étant une fonction arbitraire de $\left(\frac{t}{c^{2r'}}\right)$; on a donc

$$U = \int dt . c^{-\mu t + \frac{1}{4}t^2} . \psi\left(\frac{t}{c^{2r'}}\right)$$

Soit

$$t = 2\mu + 2s . \sqrt{-1};$$

l'équation précédente prendra cette forme

$$U = c^{-\mu^2} . \int ds . c^{-s^2} . \Gamma\left(\frac{s - \mu . \sqrt{-1}}{c^{2r'}}\right); \qquad (A)$$

Il est aisé de voir que l'équation aux limites de l'intégrale, donnée ci-dessus, exige que les limites de l'intégrale relative à s, soient prises depuis $s = -\infty$, jusqu'à $s = \infty$. En prenant le radical $\sqrt{-1}$ avec le signe $-$, on auroit pour U, une expression de cette forme

$$U = c^{-\mu^2} . \int ds . c^{-s^2} . \Pi\left(\frac{s + \mu \sqrt{-1}}{c^{2r'}}\right)$$

la fonction arbitraire $\Pi(s)$ pouvant être autre que la fonction $\Gamma(s)$. La somme de ces deux expressions de U, sera la valeur entière de U. Mais il est facile de s'assurer

que les intégrales étant prises depuis $s = -\infty$ jusqu'à $s = \infty$, l'addition de cette nouvelle expression de U n'ajoute rien à la généralité de la première dans laquelle elle est comprise.

Développons maintenant le second membre de l'équation (A), suivant les puissances de $\frac{1}{c^{2r'}}$, et considérons un des termes de ce développement, tel que

$$\frac{H^{(i)}.\,c^{-\mu^2}}{c^{4ir'}}.\int ds.\,c^{-s^2}.\,(s - \mu\sqrt{-1})^{2i}.$$

ce terme devient après les intégrations

$$\frac{1.3.5\ldots(2i-1)}{2^i}\sqrt{\pi}.\frac{H^{(i)}.c^{-\mu^2}}{c^{4ir'}}.\left\{\begin{array}{l}1 - \frac{i}{1.2}.(2\mu)^2 + \frac{i.(i-1)}{1.2.3.4}.(2\mu)^4 - \frac{i.(i-1).(i-2)}{1.2.3.4.5.6}(2\mu)^6 \\ + \text{etc.}\end{array}\right\}$$

Considérons encore un terme du développement de l'expression de U, tel que

$$\frac{L^{(i)}.\sqrt{-1}.\,c^{-\mu^2}}{c^{(4i+2).r'}}.\int ds.\,c^{-s^2}.\,(s-\mu\sqrt{-1})^{2i+1}$$

ce terme devient après les intégrations

$$\frac{1.3.5\ldots(2i+1).L^{(i)}\mu.c^{-\mu^2}\sqrt{\pi}}{2^i.\,c^{(4i+2)r'}}.\left\{\begin{array}{l}1 - \frac{i}{1.2.3}(2\mu)^2 + \frac{i.(i-1)}{1.2.3.4.5}(2\mu)^4 - \frac{i.(i-1).(i-2)}{1.2.3.4.5.6.7}.(2\mu)^6 \\ + \text{etc.}\end{array}\right\}$$

On aura donc ainsi l'expression générale de la probabilité U, développée dans une série ordonnée suivant les puissances de $\frac{1}{c^{2r'}}$, série qui devient très-convergente, lorsque r' est un peu considérable. Cette expression doit être telle que $\int U dx$ ou $\frac{1}{2}\int U.\,d\mu\,\sqrt{n}$ soit égal à l'unité,

les intégrales étant étendues à toutes les valeurs dont x et μ sont susceptibles, c'est-à-dire, depuis x nul jusqu'à $x = n$, et depuis $\mu = -\sqrt{n}$ jusqu'à $\mu = \sqrt{n}$; car il est certain que l'urne doit ou non, contenir des boules blanches. En prenant l'intégrale $\int c^{-\mu^2} . d\mu$, dans ces limites, et généralement dans les limites $\pm n^{\frac{1}{r}}$, on a le même résultat à très-peu près qu'en la prenant depuis $\mu = -\infty$, jusqu'à $\mu = \infty$; la différence n'est ici que de l'ordre $\frac{c^{-n}}{\sqrt{n}}$, et vu l'extrême rapidité avec laquelle c^{-n} diminue à mesure que n augmente, on voit que cette différence est entièrement insensible, lorsque n est un grand nombre. Cela posé, considérons dans l'intégrale $\frac{1}{2} . \int U d\mu . \sqrt{n}$, le terme

$$\frac{1.3.5.....(2i-1) . \frac{1}{2}.H^{(i)}.\sqrt{n\pi}}{2^i . c^{4ir'}} . \int c^{-\mu^2} d\mu . \left\{1 - \frac{i}{1.2}.(2\mu)^2 + \frac{i.(i-1)}{1.2.3.4}.(2\mu)^4 - \text{etc.}\right\}$$

En étendant l'intégrale depuis $\mu = -\infty$ jusqu'à $\mu = \infty$, ce terme devient

$$\frac{1.3.5.....(2i-1).\frac{1}{2} H.^{(i)}\pi.\sqrt{n}}{2^i . c^{4ir'}} . \left\{1 - i + \frac{i.(i-1)}{1.2} - \frac{i.(i-1).(i-2)}{1.2.3} + \text{etc.}\right\};$$

le dernier facteur $1 - i + \frac{i.(i-1)}{1.2} - \text{etc.}$, est égal à $(1-1)^i$; il est donc nul excepté dans le cas de $i = 0$, où il se réduit à l'unité. Il est visible que les termes de l'expression de U, qui renferment des puissances impaires de μ, donnent un résultat nul, dans l'intégrale $\frac{1}{2} . \int U d\mu . \sqrt{n}$, étendue depuis $\mu = -\infty$ jusqu'à $\mu = \infty$; car ces termes ont pour facteur $c^{-\mu^2}$, et l'on a généralement dans ces limites,

$$\int d\mu . \mu^{2i+1} . c^{-\mu^2} = 0;$$

il n'y a donc que le premier terme de l'expression de U, terme que nous représentons par $H.\, c^{-\mu^2}$ qui puisse donner un résultat dans l'intégrale $\frac{1}{2}.\int U d\mu.\, \sqrt{n}$, et ce résultat est $\frac{1}{2}\, H\pi.\sqrt{n}$; on a donc

$$\tfrac{1}{2}.\, H.\, \pi.\, \sqrt{n} = 1$$

par conséquent

$$H = \frac{2}{\pi.\sqrt{n}}.$$

L'expression générale de U, a ainsi la forme suivante,

$$U = \frac{2c^{-\mu^2}}{\sqrt{n\pi}} \left\{ \begin{array}{l} 1 + \frac{Q^{(1)}.\,(1-2\mu^2)}{c^{4r'}} + \frac{Q^{(2)}.\,(1-4\mu^2+\frac{4}{3}\mu^4)}{c^{8r'}} + \text{etc.} \\ + \frac{L^{(0)}\,\mu}{c^{2r'}} + \frac{L^{(1)}\,\mu.\,(1-\frac{2}{3}\mu^2)}{c^{6r'}} + \frac{L^{(2)}\,\mu.\,(1-\frac{4}{3}\mu^2+\frac{4}{15}\mu^4)}{c^{10r'}} + \text{etc} \end{array} \right\};$$

$Q^{(1)}$, $Q^{(2)}$, etc., $L^{(0)}$, $L^{(2)}$, etc., étant des constantes indéterminées qui dépendent de la valeur initiale de U.

Supposons que U devienne X, lorsque r' est nul, X étant une fonction donnée de μ. On a généralement ces deux théorèmes,

$$0 = Q^{(i)}.\int u^{2q}.\, d\mu.\, U_i.\, c^{-\mu^2};\ 0 = L^{(i)}.\int \mu^{2q+1}.\, d\mu.\, U_i'.\, c^{-\mu^2}$$

lorsque q est moindre que i, U_i et U_i' étant les fonctions de μ par lesquelles $\frac{2Q^{(i)}.\, c^{-\mu^2}}{\sqrt{n\pi}.\, c^{4ir'}}$ et $\frac{2L^{(i)}.\, c^{-\mu^2}}{\sqrt{n\pi}.\, c^{(4i+2)r'}}$ sont multipliés dans l'expression de U. Par ce qui précède, le terme $\frac{2Q^{(i)}.\, U_i c^{-\mu^2}}{c^{4ir'}.\sqrt{n\pi}}$ est égal à

$$\frac{H^{(i)}.\,(\sqrt{-1})^{2i}}{c^{4ir'}}.\, c^{-\mu^2}.\int ds.\, c^{-s^2}.(\mu + s\sqrt{-1})^{2i};$$

il faut donc démontrer que l'on a

$$0 = \iint \mu^{2q}.\, ds.\, d\mu.\, c^{-\mu^2-s^2} \left(\mu + s\sqrt{-1}\right)^{2i}$$

les intégrales étant prises depuis s et μ égaux à $-\infty$, jusqu'à s et μ égaux à $+\infty$. En intégrant d'abord par rapport à μ, ce terme devient

$$\frac{(2q-1)}{2}\iint \mu^{2q-2}.\, d\mu.ds.\, c^{-\mu^2-s^2}.\left(\mu + s\sqrt{-1}\right)^{2i}$$

$$+ i.\iint \mu^{2q-1}.\, d\mu.\, ds.\, c^{-\mu^2-s^2}.\left(\mu + s\sqrt{-1}\right)^{2i-1}$$

En continuant d'intégrer ainsi par parties, on arrive à des termes de la forme

$$K.\iint d\mu.\, ds.\, c^{-\mu^2-s^2}.\left(\mu + s\sqrt{-1}\right)^{2e}$$

e n'étant pas zéro ; et par ce qui précède, ce terme est nul. On prouvera de la même manière, que l'on a

$$0 = L^{(i)}.\int \mu^{2q+1}.\, d\mu.\, U'_i.\, c^{-\mu^2}.$$

De là il suit que l'on a généralement

$$0 = \int U_i.\, U_{i'}\, d\mu.\, c^{-\mu^2};\ 0 = \int U'_i.\, U'_{i'}.\, d\mu.\, c^{-\mu^2}$$

i et i' étant des nombres différens. Car si, par exemple, i' est plus grand que i, toutes les puissances de μ dans U_i seront moindres que $2i'$; chacun des termes de U donnera donc par les théorêmes précédens, un résultat nul, dans l'intégrale $\int U_i.\, U_{i'}.\, d\mu.\, c^{-\mu^2}$. Le même raisonnement a lieu pour l'intégrale $\int U'_i.\, U'_{i'}\, d\mu.\, c^{-\mu^2}$.

Mais ces intégrales ne sont pas nulles, lorsque $i' = i$. On les obtiendra dans ce cas, de cette manière. On a par ce qui précède,

$$U_i = \frac{2^i . (\sqrt{-1})^{2i} . \int ds . c^{-s^2} . (\mu + s . \sqrt{-1})^{2i}}{1 . 3 . 5 \ldots\ldots (2i-1) . \sqrt{\pi}}.$$

Le terme qui a pour facteur μ^{2i} dans cette expression, est

$$\frac{2^i . (\sqrt{-1})^{2i} . \mu^{2i}}{1.3.5 \ldots\ldots (2i-1)};$$

or on peut ne considérer que ce terme, dans le premier facteur U_i de l'intégrale $\int U_i . U_i \, d\mu . c^{-\mu^2}$; car les puissances inférieures de μ dans ce facteur, donnent un résultat nul dans l'intégrale; on a donc

$$\int U_i . U_i . d\mu . c^{-\mu^2} = \frac{2^{2i}}{\{1.3.5\ldots(2i-1)\}^2 . \sqrt{\pi}} . \iint \mu^{2i} . d\mu . ds . c^{-\mu^2-s^2} . (\mu + s\sqrt{-1})^{2i}$$

On a en intégrant par rapport à μ, depuis $\mu = -\infty$, jusqu'à $\mu = \infty$,

$$\iint \mu^{2i} . d\mu . ds . c^{-\mu^2-s^2} . (\mu + s . \sqrt{-1})^{2i} = \frac{(2i-1)}{2} . \iint \mu^{2i-2} . d\mu . ds . c^{-\mu^2-s^2} . (\mu + s . \sqrt{-1})^{2i}$$
$$+ \frac{2i}{2} . \iint \mu^{2i-1} . d\mu . ds . c^{-\mu^2-s^2} . (\mu + s\sqrt{-1})^{2i-1}$$

Le premier terme du second membre de cette équation est nul par ce qui précède; ce membre se réduit donc à son second terme. On trouve de la même manière que l'on a

$$\iint \mu^{2i-1} d\mu . ds . c^{-\mu^2-s^2} . (\mu + s\sqrt{-1})^{2i-1} = \frac{(2i-1)}{2} . \iint \mu^{2i-2} . d\mu . ds . c^{-\mu^2-s^2} . (\mu + s\sqrt{-1})^{2i-2};$$

et ainsi de suite ; on a donc

$$\iint \mu^{2i}.\, d\mu.\, ds.\, c^{-\mu^2-s^2}.\,(\mu+s\sqrt{-1})^{2i}=\frac{1.2.3\ldots\ldots 2i.\pi}{2^{2i}};$$

par conséquent

$$\int U_i.\, U_i\, d\mu.\, c^{-\mu^2}=\frac{2.4.6\ldots\ldots 2i.\sqrt{\pi}}{1.3.5\ldots\ldots(2i-1)}.$$

On trouvera de la même manière,

$$\int U_i'.\, U_i'\, d\mu.\, c^{-\mu^2}=\frac{1}{2}.\,\frac{2.4.6\ldots\ldots 2i.\sqrt{\pi}}{1.3.5\ldots\ldots(2i+1)}.$$

On a évidemment

$$\int U_i.\, U'_{i'}.\, d\mu.\, c^{-\mu^2}=0$$

dans le cas même où i et i' ne sont pas différens ; parce que le produit $U_i.\, U'_{i'}$ ne contient que des puissances impaires de μ. Cela posé.

L'expression générale de U, donne pour sa valeur initiale que nous avons désignée par X,

$$X=\frac{2c^{-\mu^2}}{\sqrt{n\pi}}.\left\{\begin{array}{l} 1+Q^{(1)}.\,(1-2\mu^2)+\text{etc.} \\ +L^{(0)}.\,\mu+L^{(1)}.\,\mu\,(1-\frac{2}{3}\mu^2)+\text{etc.}\end{array}\right\}$$

Si l'on multiplie cette équation par $U_i\, d\mu$, et si l'on prend les intégrales depuis $\mu=-\infty$ jusqu'à $\mu=\infty$, on aura en vertu des théorêmes précédens

$$\int X.\, U_i\, d\mu=\frac{2}{\sqrt{n\pi}}.\, Q^{(i)}.\int U_i.\, U_i.\, d\mu.\, c^{-\mu^2};$$

d'où l'on tire

$$Q^{(i)}=\frac{1.3.5\ldots\ldots(2i-1).\frac{1}{2}\sqrt{n}}{2.4.6\ldots\ldots 2i}.\int X.\, U_i\, d\mu;$$

On

On trouvera de la même manière

$$L^{(i)} = \frac{1.3.5\ldots\ldots(2i+1).\sqrt{\pi}}{2.4.6\ldots\ldots 2i}.\int X.\, U_i'.\, d\mu;$$

on aura donc ainsi les valeurs successives de $Q^{(1)}$, $Q^{(2)}$, etc. $L^{(0)}$, $L^{(1)}$, etc., au moyen d'intégrales définies, lorsque X ou la valeur initiale de U sera donnée.

Dans le cas où X est égal à $\frac{2i}{\sqrt{n\pi}}.\ c^{-i^2\mu^2}$, l'expression générale de U prend une forme très-simple. Alors la fonction arbitraire $\Gamma\left(\frac{s-\mu\sqrt{-1}}{c^{2r'}}\right)$ de la formule (A) est de la forme $k.\ c^{-6\left[\frac{s-\mu\sqrt{-1}}{c^{2r'}}\right]^2}$. Pour déterminer les constantes 6 et k, nous observerons qu'en supposant

$$6' = \frac{6}{c^{4r'}}$$

on aura

$$U = k.\, c^{\frac{-\mu^2}{1+6'}}.\int ds.\, c^{-(1+6').\left(s-\frac{6'\mu\sqrt{-1}}{1+6'}\right)^2}$$

en faisant ensuite

$$\sqrt{1+6'}.\left(s-\frac{6'.\mu.\sqrt{-1}}{1+6'}\right) = s';$$

et observant que l'intégrale relative à s, devant être prise depuis $s = -\infty$, jusqu'à $s = +\infty$, l'intégrale relative à s' doit être prise dans les mêmes limites; on aura

$$U = \frac{k.\sqrt{\pi}}{\sqrt{1+6'}}.\, c^{\frac{-\mu^2}{1+6'}}.$$

En comparant cette expression, à la valeur initiale de U, qui est

$$U = \frac{2i}{\sqrt{n\pi}} \cdot c^{-i^2\mu^2},$$

et observant que 6 est la valeur initiale de $6'$, on aura

$$i^2 = \frac{1}{1+6}$$

d'où l'on tire

$$6 = \frac{1-i^2}{i^2}; \; 6' = \frac{1-i^2}{i^2 \cdot c^{4r'}}$$

On doit avoir ensuite

$$\frac{k.\sqrt{\pi}}{\sqrt{1+6}} = \frac{2i}{\sqrt{n\pi}};$$

ce qui donne

$$k.\sqrt{\pi} = \frac{2}{\sqrt{n\pi}};$$

valeur que l'on obtient encore par la condition de $\frac{1}{2}.\int U d\mu.\sqrt{n} = 1$, l'intégrale étant prise depuis $\mu = -\infty$, jusqu'à $\mu = \infty$; on aura donc pour l'expression de U, quel que soit r'

$$U = \frac{2}{\sqrt{n\pi.(1+6')}} \cdot c^{\frac{-\mu^2}{1+6'}}$$

On trouve en effet que cette valeur de U, substituée dans l'équation aux différentielles partielles en U, y satisfait. $6'$ diminuant sans cesse quand r' augmente, la valeur de U varie sans cesse, et devient à sa limite lorsque r' est infini,

$$U = \frac{2}{\sqrt{n\pi}} \cdot c^{-\mu^2}.$$

Pour donner une application de ces formules, imaginons dans une urne C, un très-grand nombre m de

boules blanches, et un pareil nombre de boules noires. Ces boules ayant été mêlées, supposons que l'on tire de l'urne, n boules que l'on met dans l'urne A. Supposons ensuite que l'on mette dans l'urne B, autant de boules blanches qu'il y a de boules noires dans l'urne A, et autant de boules noires, qu'il y a de boules blanches dans la même urne. Il est clair que le nombre des cas dans lesquels on aura x boules blanches, et par conséquent $n-x$ boules noires dans l'urne A, est égal au produit du nombre des combinaisons des m boules blanches de l'urne C, prises x à x, par le nombre des combinaisons des m boules noires de la même urne, prises $n-x$ à $n-x$. Ce produit est égal à

$$\frac{m.(m-1).(m-2)\ldots\ldots(m-x+1)}{1.2.3\ldots.x}\cdot\frac{m.(m-1).(m-2)\ldots\ldots(m-n+x+1)}{1.2.3\ldots\ldots(n-x)},$$

ou à

$$\frac{(1.2.3\ldots\ldots m)^2}{1.2.3\ldots.x.\ 1.2.3\ldots.(m-x).\ 1.2.3\ldots.(n-x).\ 1.2.3\ldots\ldots(m-n+x)}.$$

Le nombre de tous les cas possibles est le nombre des combinaisons des $2m$ boules prises n à n; ce nombre est

$$\frac{1.2.3\ldots.2m}{1.2.3\ldots.n.\ 1.2.3\ldots.(2m-n)};$$

en divisant donc la fraction précédente, par celle-ci, on aura pour la probabilité de x, ou pour la valeur initiale de U

$$\frac{(1.2.3\ldots m)^2.\ 1.2.3\ldots n.\ 1.2.3\ldots(2m-n)}{1.2.3\ldots x.\ 1.2.3\ldots(m-x).\ 1.2.3\ldots(n-x).\ 1.2.3\ldots(m-n+x).\ 1.2.3\ldots 2m}.$$

Maintenant, si l'on observe que l'on a à très-peu-près, lorsque s est un très-grand nombre,

$$1.2.3\ldots s = s^{s+\frac{1}{2}}.c^{-s}.\sqrt{2\pi};$$

on trouvera après toutes les réductions, en faisant

$$x = \frac{n+\mu\sqrt{n}}{2},$$

et négligeant les quantités de l'ordre $\frac{1}{n}$,

$$U = \frac{2}{\sqrt{n\pi}}.\sqrt{\frac{m}{2m-n}}.c^{\frac{-m\mu^2}{2m-n}};$$

en faisant donc

$$i^2 = \frac{m}{2m-n},$$

on aura

$$U = \frac{2i}{\sqrt{n\pi}}.c^{-i^2\mu^2}.$$

Si le nombre m est infini, alors $i^2 = \frac{1}{2}$, et la valeur initiale de U est

$$U = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{m\pi}}.c^{-\frac{1}{2}.\mu^2}.$$

Sa valeur après un nombre quelconque de tirages est

$$U = \frac{2}{\sqrt{n\pi\left[1+c^{\frac{-4r}{n}}\right]}}.c^{\frac{-\mu^2}{1+c^{\frac{-4r}{n}}}}.$$

Le cas de m infini, revient à celui dans lequel l'urne A seroit remplie, en projetant n fois, une pièce qui

ameneroit indifféremment *croix* ou *pile*, et en mettant dans l'urne A, une boule blanche chaque fois que *croix* arriveroit, et une boule noire, chaque fois que *pile* arriveroit; car il est visible que la probabilité de tirer une boule blanche ou noire de l'urne C, est $\frac{1}{2}$ comme celle d'amener *croix* ou *pile*. En prenant l'intégrale $\int U dx$, ou $\frac{1}{2}\int U d\mu \sqrt{n}$ depuis $\mu = -a$ jusqu'à $\mu = a$; on aura la probabilité que le nombre des boules blanches de l'urne A, sera compris dans les limites $\pm a\sqrt{n}$.

VI.

Du milieu qu'il faut choisir entre les résultats des observations.

Lorsque l'on veut corriger un élément déjà connu à fort peu près, par l'ensemble d'un grand nombre d'observations; on forme des équations de condition, de la manière suivante. Soit z la correction de l'élément, et ϵ l'observation; l'expression analytique de celle-ci, sera une fonction de l'élément. En y substituant au lieu de l'élément, sa valeur approchée, plus la correction z; en réduisant en série par rapport à z, et négligeant le carré de z; cette fonction prendra la forme $m + p z$, à laquelle on égale la quantité observée ϵ; ce qui donne

$$\epsilon = m + pz;$$

z seroit donc ainsi déterminé, si l'observation étoit

rigoureuse ; mais comme elle est susceptible d'erreur, en nommant ε, cette erreur, on a rigoureusement

$$\beta + \varepsilon = m + pz$$

ou en faisant $\beta - m = \varphi$, on a

$$\varepsilon = pz - \varphi.$$

Chaque observation fournit une équation de condition semblable, que l'on peut représenter pour l'observation $(i+1)^{\text{ième}}$, par celle-ci

$$\varepsilon^{(i)} = p^{(i)}.\, z - \varphi^{(i)}.$$

En réunissant toutes ces équations, on a

$$S.\, \varepsilon^{(i)} = z.\, S.\, p^{(i)} - S.\, \varphi^{(i)}:$$

le signe S se rapportant à toutes les valeurs de i, depuis $i = 0$ jusqu'à $i = s-1$, s étant le nombre total des observations. En supposant nulle la somme des erreurs, cette équation donne

$$z = \frac{S.\, \varphi^{(i)}}{S.\, p^{(i)}};$$

c'est ce que l'on nomme ordinairement *résultat moyen* des observations.

J'ai donné dans le volume précédent, la loi de la probabilité des erreurs de ce résultat ; mais au lieu de supposer nulle, la somme des erreurs, on peut supposer nulle, une fonction quelconque linéaire de ces erreurs, que nous représenterons ainsi

$$q.\, \varepsilon + q^{(1)}.\, \varepsilon^{(1)} + q^{(2)}.\, \varepsilon^{(2)} \ldots\ldots + q^{(s-1)}.\, \varepsilon^{(s-1)}; \quad (m)$$

q, $q^{(1)}$, $q^{(2)}$, etc., étant des nombres positifs ou négatifs,

que nous supposerons être entiers. En substituant dans la fonction (m), au lieu de ε, $\varepsilon^{(1)}$, etc., leurs valeurs données par les équations de condition, elle devient

$$z.\,S.\,p^{(i)}\,q^{(i)} - S.\,q^{(i)}\,\varphi^{(i)}.$$

En égalant donc à zéro la fonction (m), on a

$$z = \frac{S.\,q^{(i)}\,\varphi^{(i)}}{S.\,p^{(i)}\,q^{(i)}}$$

Soit z' l'erreur de ce résultat, en sorte que l'on ait

$$z = \frac{S.\,q^{(i)}\,\varphi^{(i)}}{S.\,p^{(i)}\,q^{(i)}} + z'$$

ce qui donne pour l'expression de la fonction (m)

$$z'.\,S.\,p^{(i)}\,q^{(i)};$$

et déterminons la loi de probabilité de l'erreur z' du résultat, lorsque les observations sont en grand nombre. Pour cela, considérons le produit

$$S.\,\psi\left(\frac{x}{a}\right).\,c^{qx\varpi\sqrt{-1}} \times S.\,\psi\left(\frac{x}{a}\right).\,c^{q^{(1)}x\varpi\sqrt{-1}} \ldots\ldots \times S.\,\psi\left(\frac{x}{a}\right).\,c^{q^{(s-1)}.x\varpi\sqrt{-1}}$$

le signe S s'étendant ici depuis la valeur négative extrême de x, jusqu'à sa valeur positive extrême: $\psi\left(\frac{x}{a}\right)$ est la probabilité d'une erreur x dans chaque observation, x étant supposé ainsi que a, formé d'une infinité de parties prises pour unité. Il est clair que le coefficient d'une exponentielle quelconque $c^{l\varpi\sqrt{-1}}$ dans ce produit, sera la probabilité que la somme des erreurs de chaque observation, multipliées respectivement par q, $q^{(1)}$, etc., c'est-à-dire la fonction (m) sera égale

à l; en multipliant donc le produit précédent, par $c^{-l\varpi\sqrt{-1}}$, le terme indépendant de ϖ, dans ce nouveau produit, exprimera cette probabilité. Si l'on suppose, comme nous le ferons ici, la probabilité des erreurs de chaque observation, la même pour les erreurs, soit positives, soit négatives; on pourra dans la somme $S.\Psi\left(\frac{x}{a}\right).c^{qx\varpi\sqrt{-1}}$, réunir les deux termes multipliés, l'un par $c^{qx\varpi\sqrt{-1}}$, et l'autre par $c^{-qx\varpi\sqrt{-1}}$; alors cette somme prend la forme $2\,S.\Psi\left(\frac{x}{a}\right).\cos.\,qx\varpi$. Il en est de même des autres sommes semblables. De là il suit que la probabilité que la fonction (m) sera égale à l, est le terme indépendant de ϖ, dans la fonction

$$c^{-l\varpi\sqrt{-1}}\times 2S.\Psi\left[\frac{x}{a}\right].\cos.\,qx\varpi.\times 2S.\Psi\left[\frac{x}{a}\right].\cos.\,q^{(1)}x\varpi\ldots\ldots\times 2S.\Psi\left[\frac{x}{a}\right].\cos.\,q^{(s-1)}x\varpi.$$

En y changeant $-l$ dans l, on aura la probabilité que la fonction (m) sera égale à $-l$; en réunissant ces deux expressions, le terme indépendant de ϖ dans le produit

$$2.\cos.\,l\varpi\times 2S.\Psi\left[\frac{x}{a}\right].\cos.\,qx\varpi\times 2S.\Psi\left[\frac{x}{a}\right].\cos.\,q^{(1)}x\varpi\ldots\ldots\times 2S.\Psi\left[\frac{x}{a}\right].\cos.\,q^{(s-1)}x\varpi;$$

est la probabilité que la fonction (m) sera ou $+l$, ou $-l$; cette probabilité est donc

$$\frac{2}{\pi}.\int d\varpi.\cos.l\varpi.\times 2S.\Psi\left[\frac{x}{a}\right].\cos.\,qx\varpi.\times 2S.\Psi\left[\frac{x}{a}\right].\cos.\,q^{(1)}x\varpi\ldots\ldots\times 2S.\Psi\left[\frac{x}{a}\right].\cos.\,q^{(s-1)}x\varpi.$$

l'intégrale étant prise depuis ϖ nul, jusqu'à $\varpi=\pi$.
On a en réduisant les cosinus en séries,

$$S.\Psi\left[\frac{x}{a}\right].\cos.\,qx\varpi = S.\Psi\left[\frac{x}{a}\right] - \tfrac{1}{2}q^2.a^2\varpi^2.S.\frac{x^2}{a^2}\Psi\left[\frac{x}{a}\right] + \text{etc.}$$

Si

Si l'on fait $\frac{x}{a} = x'$, et si l'on observe que la variation de x étant l'unité, on a $dx' = \frac{1}{a}$; on aura

$$S.\Psi\left(\frac{x}{a}\right) = a.\int dx'\,\Psi(x').$$

Nommons k l'intégrale $2\int dx'.\,\Psi(x')$, prise depuis x nul jusqu'à sa valeur extrême; nommons pareillem en k' l'intégrale $\int x'^2\,dx'.\,\Psi(x')$ étendue dans les mêmes limites, et ainsi de suite; nous aurons

$$2.\,S.\Psi\left(\frac{x}{a}\right).\cos.\,qx\varpi = a\,k.\left(1 - \frac{k'}{k}.\,q^2.\,a^2\varpi^2 + \text{etc.}\right)$$

Son logarithme est

$$-\frac{k'.q^2}{k}.\,a^2\varpi^2 - \text{etc.} + \log.\,ak.$$

ak ou $2a\int dx'.\Psi(x')$ étant égal à $2.\ S.\Psi\left(\frac{x}{a}\right)$; il exprime la probabilité que l'erreur de chaque observation, sera comprise dans ses limites, ce qui est certain; on a donc $ak = 1$, ce qui réduit le logarithme précédent à

$$-\frac{k'.q^2}{k}.\,a^2\varpi^2 - \text{etc.}$$

De là il est aisé de conclure que le logarithme du produit

$$2.\,S.\Psi\left(\frac{x}{a}\right).\cos.\,qx\varpi \times 2S.\Psi\left(\frac{x}{a}\right).\cos.\,q^{(1)}x\varpi \ldots \times 2S.\Psi\left(\frac{x}{a}\right).\cos.\,q^{(s-1)}x\varpi$$

est égal à

$$-\frac{k'}{k}.\,S.\,{q^{(i)}}^2.\,a^2\varpi^2 - \text{etc.},$$

le signe S s'étendant ici depuis $i = 0$, jusqu'à $i = s - 1$. Lorsque les observations sont en très-grand nombre, on peut ne conserver que le premier terme de la série; car il

est facile de voir que la somme des carrés ou des cubes, etc. de q, $q^{(1)}$, etc., étant de l'ordre s, chacun des termes de la série a pour facteur une quantité de cet ordre; mais si l'on suppose que $s\, a^2\, \varpi^2$ soit toujours d'un ordre moindre que $\sqrt{s}$, alors le second terme de la série, étant de l'ordre $s a^4 \varpi^4$, il sera très-petit et deviendra nul, dans le cas de s infini; on peut donc négliger vis-à-vis du premier terme, le second et à plus forte raison les suivans. Maintenant, si l'on repasse des logarithmes aux nombres, on aura

$$2.S.\psi\left(\frac{x}{a}\right).\cos.qx\varpi \times 2S.\psi\left(\frac{x}{a}\right).\cos.q^{(1)}x\varpi.\times\text{etc.} = c^{-\frac{k'}{k}.a^2\varpi^2.S.q^{(i)^2}};$$

la probabilité que la fonction (m) sera égale à $+l$, ou à $-l$, est donc en intégrant depuis ϖ nul jusqu'à $\varpi=\pi$

$$\frac{2}{a\pi}.\int a d\varpi.\cos.l\varpi.c^{-\frac{k'}{k}.a^2\varpi^2 S.q^{(i)^2}}.$$

Si l'on fait $a\,\varpi = t$, cette intégrale devient

$$\frac{2}{a\pi}.\int dt.\cos.\frac{l}{a}t.c^{-\frac{k'}{k}.t^2.S.q^{(i)^2}}.$$

L'intégrale relative à ϖ, devant être prise depuis ϖ nul jusqu'à $\varpi=\pi$, l'intégrale relative à t doit être prise depuis t nul jusqu'à $t = a\pi$ ou jusqu'à l'infini, a étant supposé d'un nombre infini d'unités. A la vérité, nous sommes parvenus à l'intégrale précédente, en supposant $s\,a^2\,\varpi^2$, ou st^2, d'un ordre plus petit que $\sqrt{s}$; mais lorsque st^2 est de l'ordre $\sqrt{s}$, l'exponentielle $c^{-\frac{k'}{k}t^2.S.q^{(i)^2}}$ devient si

excessivement petite, que l'on peut sans crainte d'aucune erreur sensible, étendre l'intégrale au-delà jusqu'à l'infini. Cela posé, cette intégrale devient par l'art. II

$$\frac{1}{a\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{k'}{k} \cdot S.q^{(i)^2}}} \cdot c^{-\frac{k\,l^2}{4k'.a^2.S.q^{(i)^2}}}.$$

En faisant donc $l = ar$, et observant que la variation de l étant l'unité, on a, $adr = 1$; on aura

$$\frac{1}{\sqrt{\frac{k'\pi}{k} \cdot S.q^{(i)^2}}} \int dr.\, c^{-\frac{kr^2}{4k'.S.q^{(i)^2}}}$$

pour la probabilité que la fonction (m) sera comprise dans les limites $\pm a\,r$.

Déterminons présentement la valeur moyenne de l'erreur à craindre, en adoptant pour résultat moyen des observations, la correction

$$\frac{S.q^{(i)}\varphi^{(i)}}{S.p^{(i)}q^{(i)}}$$

qui résulte, comme on l'a vu, de l'égalité de la fonction (m) à zéro. z' étant supposé la correction de ce résultat, la fonction (m) devient $z'\,Sp^{(i)}\,q^{(i)}$. En faisant cette quantité égale à $a\,r$, on aura

$$\frac{dr.\,c^{-\frac{kr^2}{4k'.S.q^{(i)2}}}}{2.\sqrt{\frac{k'\pi}{k}.S.q^{(i)^2}}} = \frac{dz'.\,S.\,p^{(i)}q^{(i)}}{2a.\sqrt{\pi}.\sqrt{\frac{k'}{k}.S.q^{(i)^2}}} \cdot c^{-\frac{k.z'^2.(S.p^{(i)}q^{(i)})^2}{4k'.a^2.S.q^{(i)2}}}$$

le coefficient de dz' dans le second membre de cette équation, est donc l'ordonnée de la courbe des probabilités des erreurs z' qui représentent les abscisses de cette courbe que l'on peut étendre à l'infini de chaque côté de l'ordonnée qui répond à z' nul. Cela posé, toute erreur, soit positive, soit négative, doit être considérée comme un désavantage ou une perte réelle à un jeu quelconque; or par les principes connus du calcul des probabilités, on évalue ce désavantage en prenant la somme de tous les produits de chaque désavantage par sa probabilité; la valeur moyenne de l'erreur à craindre est donc la somme des produits de chaque erreur, abstraction faite du signe, par sa probabilité; par conséquent elle est égale à l'intégrale

$$\frac{\int z'.dz'.S.p^{(i)}q^{(i)}}{a.\sqrt{\frac{k'\pi}{k}.S.q^{(i)2}}}.c^{-\frac{k.z'^2.(S.p^{(i)}q^{(i)})^2}{4k'.a^2.S.q^{(i)2}}}$$

prise depuis z' nul jusqu'à z' infini; l'erreur moyenne à craindre est donc

$$2a.\sqrt{\frac{k'}{k\pi}}.\frac{\sqrt{S.q^{(i)2}}}{S.p^{(i)}q^{(i)}};\quad \text{(B)}$$

Les valeurs de p, $p^{(1)}$, etc., sont données par les équations de condition; mais les valeurs de q, $q^{(1)}$, etc. sont arbitraires, et doivent être déterminées par la condition que l'expression précédente soit un *minimum*. Cette condition donne en ne faisant varier que $q^{(i)}$

$$\frac{q^{(i)}}{S.q^{(i)2}}=\frac{p^{(i)}}{S.p^{(i)}q^{(i)}}.$$

Cette équation a lieu, quel que soit i, et comme la variation de i ne fait point changer la fraction $\frac{S.q^{(i)2}}{S.p^{(i)}q^{(i)}}$; en la nommant μ, on aura

$$q=\mu.p;\ q^{(1)}=\mu.p^{(1)}.....q^{(s-1)}=\mu.p^{(s-1)};$$

et l'on peut, quels que soient p, $p^{(1)}$, etc., prendre μ tel que les nombres q, $q^{(1)}$, etc., soient des nombres entiers, comme l'analyse précédente l'exige. Alors la formule (B) donne pour l'erreur moyenne à craindre

$$\frac{2a}{\sqrt{\frac{k\pi}{k'}S.p^{(i)2}}};\quad (D)$$

c'est dans toutes les suppositions que l'on peut faire sur les valeurs de q, $q^{(1)}$, etc., la plus petite erreur moyenne possible. Le résultat moyen des observations devient alors

$$z=\frac{S.p^{(i)}\varphi^{(i)}}{S.p^{(i)2}}.$$

Si l'on suppose les valeurs de q, $q^{(1)}$, etc., égales à ± 1, l'erreur moyenne à craindre sera la plus petite, lorsque le signe $\pm$ sera déterminé de manière que $p^{(i)}q^{(i)}$ soit positif; ce qui revient à supposer $1=q=q'=$ etc., et à préparer les équations de condition, de sorte que le coefficient de z dans chacune d'elles soit positif: c'est ce que l'on fait dans la méthode ordinaire. Alors le résultat moyen est

$$z=\frac{S.\varphi^{(i)}}{S.p^{(i)}}$$

et l'erreur moyenne à craindre est

$$\frac{2a.\sqrt{s}}{S.p^{(i)}.\sqrt{\frac{k\pi}{k'}}}.$$

Mais cette erreur surpasse la précédente (D), puisque celle-ci est la plus petite possible. On peut s'en convaincre d'ailleurs de cette manière. On a

$$\frac{\sqrt{s}}{S.p^{(i)}} > \frac{1}{\sqrt{S.p^{(i)2}}}$$

ou

$$s.\,S.\,p^{(i)2} > (S.\,p^{(i)})^2.$$

En effet, $2\,pp^{(1)}$ est moindre que $p^{(2)} + p^{(1)\,2}$, puisque $(p^{(1)} - p)^2$ est une quantité positive; on peut donc dans le second membre de l'inégalité précédente, substituer pour $2pp^{(1)}$, $p^2 + p^{(1)\,2} - f$, f étant une quantité positive. En faisant des substitutions semblables pour tous les produits semblables, ce second membre sera égal à $s.\ (p^2 + p^{(1)2} \ldots\ldots + p^{(s-1)2})$ moins une quantité positive.

Le résultat

$$z = \frac{S.\,p^{(i)}\,\varphi^{(i)}}{S.\,p^{(i)2}}$$

auquel correspond le *minimum* d'erreur à craindre, est celui que donne la méthode des moindres carrés des erreurs; car la somme de ces carrés étant

$$(pz - \varphi)^2 + (p^{(1)}\,z - \varphi^{(1)})^2 \ldots\ldots + (p^{(s-1)}\,z - \varphi^{(s-1)})^2;$$

la condition du *minimum* de cette fonction, en faisant varier z, donne pour cette variable, l'expression précé-

dente; cette méthode doit donc être employée de préférence, quelque soit la loi de facilité des erreurs, loi dont dépend le rapport $\frac{k}{k'}$. Quoique cette loi soit presque toujours ignorée, cependant on peut supposer $\frac{k}{k'} > 6$. En effet, si l'on suppose que les limites des erreurs de chaque observation sont $\pm a$, alors x' étant $\frac{x}{a}$, la valeur de x' s'étendra depuis zéro jusqu'à l'unité, dans les intégrales $2\int dx'.\Psi(x')$, et $\int x'^2\,dx'.\Psi(x')$ que k et k' représentent; il faut donc faire voir qu'alors

$$2\int dx'\,\Psi.(x') > 6.\int x'^2\,dx'.\Psi(x').$$

Pour cela, il suffit de prouver que l'on a

$$x'^2.\int dx'\,\Psi(x') > 3.\int x'^2\,dx.\Psi(x').$$

En effet, si l'on différentie cette inégalité, on aura

$$2x'.\int dx'.\Psi(x') > 2x'^2\Psi(x')$$

ou

$$\int dx'.\Psi(x') > x'\Psi(x').$$

Différentiant encore cette inégalité, on aura

$$0 > x'.\frac{d.\Psi(x')}{dx'};$$

or cette inégalité est juste, si l'on suppose que la probabilité $\Psi(x')$ de l'erreur x de chaque observation, est d'autant plus petite, que l'erreur est plus grande, ce qu'il

est naturel d'admettre : la différentielle de $\Psi(x')$ est alors négative, et par conséquent moindre que zéro.

De là il suit que la fonction (D) est moindre que

$$\frac{2a}{\sqrt{6\pi . S . p^{(i)2}}}.$$

La moitié de cette fonction est l'erreur moyenne à craindre en plus, en adoptant le résultat donné par la méthode des moindres carrés : cette moitié prise avec le signe —, est l'erreur moyenne à craindre en moins. On peut donc apprécier par là, le dégré d'approximation de ce résultat, en prenant pour a l'écart du résultat moyen qui feroit rejeter une observation. Dans l'ignorance entière où l'on est le plus souvent de la loi des erreurs, on peut également prendre toutes celles qui satisfont aux deux conditions de donner la même probabilité pour les erreurs positives et négatives égales, et de rendre les erreurs d'autant moins probables qu'elles sont plus grandes. Alors il faut choisir la loi moyenne entre toutes ces lois, et que j'ai déterminée dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1778, pag. 258. Cette loi donne pour la probabilité de l'erreur $\pm x$, $\frac{1}{2a} . \log . \frac{a}{x}$. On trouve alors $\frac{k}{k'} = 18$; ce qui donne $\frac{2a}{3\sqrt{2\pi . S . p^{(i)2}}}$ pour l'erreur moyenne à craindre.

Si l'on fait

$$z' = \frac{2a . t . \sqrt{\frac{k}{k'}}}{\sqrt{S . p^{(i)2}}};$$

ou

on aura par ce qui précède, dans la méthode des moindres carrés des erreurs, où $q^{(i)} = \mu . p^{(i)}$

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} . \int dt . c^{-t^2}$$

pour la probabilité que l'erreur du résultat moyen sera comprise dans les limites

$$\frac{\pm 2at . \sqrt{\frac{k'}{k}}}{\sqrt{S . p^{(i)^2}}}.$$

Dans la méthode ordinaire où $q^{(i)} = 1$, l'intégrale précédente exprime la probabilité que l'erreur du résultat moyen donné par cette méthode sera comprise dans les limites

$$\frac{\pm 2at . \sqrt{\frac{k'}{k}} . \sqrt{s}}{S . p^{(i)}}.$$

La valeur de t étant supposée la même pour les résultats des deux méthodes, la probabilité que l'erreur sera contenue dans les limites correspondantes, sera la même; mais ces limites sont plus resserrées dans la première méthode que dans la seconde. Si l'on suppose que ces limites sont les mêmes, relativement aux résultats des deux méthodes; la valeur de t sera plus grande, et par conséquent la probabilité que l'erreur du résultat moyen n'excédera pas ces limites, sera plus considérable dans la première méthode que dans la seconde; ainsi, sous ce nouveau rapport, la méthode des moindres carrés mérite la préférence.

VII.

Supposons maintenant qu'un même élément soit donné 1°. par le résultat moyen de s observations d'un premier genre, et qu'il soit par ces observations égal à A ; 2°. par le résultat moyen de s' observations d'un second genre, et qu'il soit égal à $A+q$; 3°. par le résultat moyen de s'' observations d'un troisième genre, et qu'il soit égal à $A+q'$, et ainsi du reste. Si l'on représente par $A+x$, l'élément vrai, l'erreur du résultat des observations s, sera $-x$; en supposant donc ϵ égal à

$$\sqrt{\frac{k}{k'}} \cdot \frac{\sqrt{S.p^{(i)2}}}{2a},$$

si l'on fait usage des moindres carrés des erreurs, pour déterminer le résultat moyen ; ou à

$$\sqrt{\frac{k}{k'}} \cdot \frac{S.p^{(i)}}{2a.\sqrt{s}}$$

si l'on emploie la méthode ordinaire ; la probabilité de cette erreur sera par l'article précédent, en supposant s un grand nombre,

$$\frac{\epsilon}{\sqrt{\pi}} \cdot c^{-\epsilon^2 x^2}.$$

L'erreur du résultat des observations s' sera $q-x$, et en désignant par ϵ', pour ces observations, ce que nous avons nommé ϵ, pour les observations s ; la probabilité de cette erreur sera

$$\frac{\epsilon'}{\sqrt{\pi}} \cdot c^{-\epsilon'^2 \cdot (x-q)^2}.$$

Pareillement l'erreur du résultat des observations s'', sera $q'-x$; et en nommant pour elles, $\text{ϐ}''$ ce que nous avons nommé ϐ pour les observations s, la probabilité de cette erreur sera

$$\frac{\text{ϐ}''}{\sqrt{\pi}} . c^{-\text{ϐ}''^2.(x-q')^2};$$

et ainsi de suite. Le produit de toutes ces probabilités sera la probabilité que $-x$, $q-x$, $q'-x$, etc., seront les erreurs des résultats moyens des observations s, s', s'', etc.; cette probabilité est donc égale à

$$\frac{\text{ϐ}}{\sqrt{\pi}} . \frac{\text{ϐ}'}{\sqrt{\pi}} . \frac{\text{ϐ}''}{\sqrt{\pi}} . \text{etc.}\, c^{-\text{ϐ}^2x^2-\text{ϐ}'^2.(x-q)^2-\text{ϐ}''^2.(x-q')^2-\text{etc.}}.$$

En la multipliant par dx, et prenant l'intégrale depuis $x=-\infty$, jusqu'à $x=\infty$, on aura la probabilité que les résultats moyens des observations s', s'', etc., surpasseront respectivement de q, q', etc., le résultat moyen des observations s.

Si l'on prend l'intégrale, dans des limites déterminées, on aura la probabilité que la condition précédente étant remplie, l'erreur du premier résultat sera comprise dans ces limites; en divisant cette probabilité par celle de la condition elle même, on aura la probabilité que l'erreur du premier résultat sera comprise dans les limites données, lorsqu'on est certain que la condition a effectivement lieu; cette probabilité est donc

$$\frac{\int dx.\, c^{-\text{ϐ}^2x^2-\text{ϐ}'^2.(x-q)^2-\text{ϐ}''^2.(x-q')^2-\text{etc.}}}{\int dx.\, c^{-\text{ϐ}^2x^2-\text{ϐ}'^2.(x-q)^2-\text{ϐ}''^2.(x-q')^2-\text{etc.}}}$$

l'intégrale du numérateur étant prise dans les limites données, et celle du dénominateur étant prise depuis $x = -\infty$, jusqu'à $x = \infty$.

On a

$$\text{б}^2x^2 + \text{б}'^2.(x-q)^2 + \text{б}''^2.(x-q')^2 + \text{etc.} = (\text{б}^2 + \text{б}'^2 + \text{б}''^2 + \text{etc.}).x^2 - 2x.(\text{б}'^2 q + \text{б}''^2.q' + \text{etc.}) + \text{б}'^2 q^2 + \text{б}''^2 q'^2 + \text{etc.}$$

Soit

$$x = \frac{\text{б}'^2 q + \text{б}''^2 q' + \text{etc.}}{\text{б}^2 + \text{б}'^2 + \text{б}''^2 + \text{etc.}} + t;$$

la probabilité précédente deviendra

$$\frac{\int dt.\, c^{-(\text{б}^2 + \text{б}'^2 + \text{б}''^2 + \text{etc.}).\, t^2}}{\int dt.\, c^{-(\text{б}^2 + \text{б}'^2 + \text{б}''^2 + \text{etc.}).\, t^2}}$$

l'intégrale du numérateur étant prise dans des limites données, et celle du dénominateur étant prise depuis $t = -\infty$, jusqu'à $t = \infty$. Cette dernière intégrale est

$$\frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{\text{б}^2 + \text{б}'^2 + \text{б}''^2 + \text{etc.}}};$$

en faisant donc

$$t' = t.\sqrt{\text{б}^2 + \text{б}'^2 + \text{б}''^2 + \text{etc.}}$$

la probabilité précédente devient

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}}.\int dt'.\, c^{-t'^2}.$$

La valeur de t' la plus probable est celle qui répond à t' nul; d'où il suit que la valeur de x la plus probable est celle qui répond à $t = 0$; ainsi la correction du pre-

mier résultat, que donne avec le plus de probabilité, l'ensemble de toutes les observations s, s', s'', etc., est

$$\frac{6'^2 . q + 6''^2 . q' + \text{etc.}}{6^2 + 6'^2 + 6''^2 + \text{etc.}}$$

et l'on trouvera, par l'article précédent, que l'erreur moyenne à craindre est

$$\frac{1}{\sqrt{\pi . (6^2 + 6'^2 + 6''^2 + \text{etc.})}}$$

dont la moitié est l'erreur à craindre en plus, et l'autre moitié prise avec le signe —, est l'erreur à craindre en moins.

La correction que nous venons de donner est celle qui rend un *minimum*, la fonction

$$[6x]^2 + [6' . (x - q)]^2 . + [6'' . (x - q)]^2 + \text{etc.};$$

or la plus grande ordonnée de la courbe des probabilités des erreurs du premier résultat, est par ce qui précède, $\frac{6}{\sqrt{\pi}}$; celle de la courbe des probabilités des erreurs du second résultat est $\frac{6'}{\sqrt{\pi}}$, et ainsi de suite; le milieu qu'il faut choisir entre les divers résultats, est donc celui qui rend un *minimum*, la somme des carrés de l'erreur de chaque résultat, multipliée par la plus grande ordonnée de la courbe de sa probabilité. Ce milieu est le premier résultat A plus sa correction, ou

$$\frac{A . 6^2 + (A + q) . 6'^2 + (A + q') . 6''^2 + \text{etc.}}{6^2 + 6'^2 + 6''^2 + \text{etc.}};$$

ainsi la loi du *minimum* des carrés des erreurs devient nécessaire, lorsque l'on doit prendre un milieu entre des résultats donnés chacun, par un grand nombre d'observations.

VIII.

L'analyse exposée dans l'article VI, peut être étendue à la correction d'un nombre quelconque d'élémens par les observations. Elle conduit toujours à ce résultat, savoir que la méthode des moindres carrés des erreurs des observations, est celle qui donne sur la correction des élémens, la plus petite erreur moyenne à craindre.

Quand on veut corriger un ou plusieurs élémens déjà connus à fort peu près, par l'ensemble d'un grand nombre d'observations; on forme des équations de condition, d'une manière analogue à celle que nous avons donnée dans l'art. VI, relativement à un seul élément.

Considérons deux élémens, et nommons z la correction du premier, et z' celle du second. Soit ε l'observation; son expression analytique sera fonction des deux élémens : en y substituant leurs valeurs approchées, augmentées respectivement des corrections z et z'; en la réduisant ensuite en série, et négligeant le produit et les carrés de z et z'; cette fonction prendra la forme $A + pz + qz'$, et en lui égalant la quantité observée ε, on aura

$$\varepsilon = A + pz + qz'.$$

Une seconde observation donnera une équation semblable; et l'on aura, en résolvant ces deux équations,

les valeurs de z et de z'. Ces valeurs seroient exactes si les observations étoient rigoureuses ; mais comme elles sont susceptibles d'erreur, on en considère un grand nombre. En combinant ensuite les équations de condition que chacune d'elles fournit, de manière à les réduire à deux ; on obtient les corrections des élémens avec d'autant plus d'exactitude, que l'on emploie plus d'observations, et qu'elles sont mieux combinées. La recherche de la combinaison la plus avantageuse est une des plus utiles de la théorie des probabilités, et mérite à-la-fois l'attention des géomètres et des observateurs.

Si dans l'équation de condition précédente on fait $\beta - A = \alpha$; et si l'on nomme ε l'erreur de la première observation, on aura

$$\varepsilon = p \,.\, z + q \,.\, z' - \alpha.$$

l'observation $(i+1)^{ième}$ donnera une équation semblable que nous représenterons par celle-ci,

$$\varepsilon^{(i)} = p^{(i)} .\, z + q^{(i)} .\, z' - \alpha^{(i)},$$

$\varepsilon^{(i)}$ étant l'erreur de cette observation, et s étant le nombre des observations, ensorte que i peut s'étendre depuis $i = 0$ jusqu'à $i = s - 1$.

Présentement, toutes les manières de combiner ensemble ces équations, se réduisent à les multiplier respectivement par des constantes, et à les ajouter ensuite. En les multipliant d'abord respectivement par m, $m^{(1)}$, $m^{(2)}$, etc., et les ajoutant, on aura l'équation finale

$$S.\, m^{(i)}\, \varepsilon^{(i)} = z.\, S.\, m^{(i)}\, p^{(i)} + z'.\, S.\, m^{(i)}\, q^{(i)} - S.\, m^{(i)}\, \alpha^{(i)}$$

En multipliant encore les mêmes équations respectivement par n, $n^{(1)}$, etc., et ajoutant ces produits, on aura une seconde équation finale :

$$S.\,n^{(i)}\varepsilon^{(i)} = z.\,S.\,n^{(i)}p^{(i)} + z'.\,S.\,n^{(i)}q^{(i)} - S.\,n^{(i)}\alpha^{(i)},$$

le signe S s'étendant dans ces deux équations à toutes les valeurs de i, depuis $i=0$ jusqu'à $i=s-1$.

Si l'on suppose nulles les deux fonctions $S.\,m^{(i)}\varepsilon^{(i)}$ et $S.\,n^{(i)}\varepsilon^{(i)}$, sommes que nous désignerons respectivement par (m) et (n); les deux équations finales précédentes donneront les corrections z et z' des deux élémens. Mais ces corrections sont susceptibles d'erreurs relatives à celle dont la supposition que nous venons de faire est susceptible elle-même. Concevons donc que les fonctions (m) et (n), au lieu d'être nulles, soient respectivement l et l'; et nommons u et u' les erreurs correspondantes des corrections z et z', déterminées par ce qui précède; les deux équations finales deviendront

$$l = u.\,S.\,m^{(i)}p^{(i)} + u'.\,S.\,m^{(i)}q^{(i)};$$
$$l' = u.\,S.\,n^{(i)}p^{(i)} + u'.\,S.\,n^{(i)}q^{(i)}.$$

Il faut maintenant déterminer les facteurs m, $m^{(1)}$, etc., n, $n^{(1)}$, etc. de manière que l'erreur moyenne à craindre soit un *minimum*. Pour cela, considérons le produit

$$\int\varphi\left(\frac{x}{a}\right).\,c^{-(m\varpi+n\varpi').x.\sqrt{-1}} \times \int\varphi\left(\frac{x}{a}\right).\,c^{-(m^{(1)}\varpi+n^{(1)}\varpi').x.\sqrt{-1}} \cdots\cdots$$
$$\times\int\varphi\left(\frac{x}{a}\right).\,c^{-(m^{(s-1)}\varpi+n^{(s-1)}\varpi').x.\sqrt{-1}},$$

le signe $\int$ se rapportant à toutes les valeurs de x, depuis $x=-a$

$x = -a$ jusqu'à $x = a$, x étant l'erreur quelconque d'une observation ; $-a$ et $+a$ étant les limites de cette erreur ; $\varphi\left(\frac{x}{a}\right)$ étant la probabilité de cette erreur, et la probabilité d'une erreur positive étant supposée la même que celle de l'erreur négative correspondante ; enfin c étant le nombre dont le logarithme hyperbolique est l'unité. La fonction précédente devient, en réunissant les deux exponentielles relatives à x et à $-x$,

$$2.\int\varphi\left(\frac{x}{a}\right).\cos(mx\varpi+nx\varpi') \times 2.\int\varphi\left(\frac{x}{a}\right).\cos(m^{(1)}x\varpi+n^{(1)}x\varpi')\ldots\ldots \times 2.\int\varphi\left(\frac{x}{a}\right).\cos(m^{(s-1)}x\varpi+n^{(s-1)}x\varpi'),$$

le signe $\int$ s'étendant ici à toutes les valeurs de x, depuis $x = 0$ jusqu'à $x = a$, x étant supposé ainsi que a, divisé dans une infinité de parties prises pour unité. Maintenant il est clair que le terme indépendant des exponentielles, dans le produit de la fonction précédente par $c^{-l\varpi.\sqrt{-1}-l'\varpi'.\sqrt{-1}}$ est la probabilité que la somme des erreurs de chaque observation, multipliées respectivement par m, $m^{(1)}$, etc., ou la fonction (m) sera égale à l, en même temps que la fonction (n), somme des erreurs de chaque observation, multipliées respectivement par (n), $n^{(1)}$, etc., sera égale à l' ; cette probabilité est donc, en supposant m, $m^{(1)}$, etc., n, $n^{(1)}$, etc., des nombres entiers,

$$\frac{1}{4\pi^2}.\iint d\varpi.\,d\varpi'.\,c^{-l\varpi\sqrt{-1}-l'\varpi'\sqrt{-1}}$$

$$\times\left\{\begin{array}{l}2.\int\varphi\left(\frac{x}{a}\right).\cos(mx\varpi+nx\varpi')\ldots\ldots\ldots\ldots\\ \ldots\times 2\int\varphi\left(\frac{x}{a}\right).\cos(m^{(s-1)}x\varpi+n^{(s-1)}x\varpi')\end{array}\right\} \quad (1);$$

π étant la demi-circonférence dont le rayon est l'unité, et les intégrales étant prises depuis ϖ et ϖ' égaux à $-\pi$, jusqu'à ϖ et ϖ' égaux à π.

En réduisant les cosinus en série, et faisant

$\frac{x}{a}=x'$; $\frac{1}{a}=dx'$;

$K=2\int dx'.\varphi(x')$; $K''=\int x'^2dx'.\varphi(x')$; $K^{\text{IV}}=\int x'^4dx'.\varphi(x')$; etc.

on a

$$2\int\varphi\left(\frac{x}{a}\right).\cos(mx\varpi+nx\varpi')=aK.\left\{\begin{array}{l}1-\frac{K''a^2}{K}(m\varpi+n\varpi')^2\\ +\frac{K^{\text{IV}}}{12.K}.a^4.(m\varpi+n\varpi')^4+\text{etc.}\end{array}\right\};$$

aK ou $2a\int dx'.\varphi(x')$ exprime la probabilité que l'erreur de chaque observation sera comprise dans ses limites, ce qui est certain; on a donc $aK=1$. En prenant donc le logarithme du second membre de l'équation précédente, on aura

$$-\frac{K''}{K}.a^2.(m\varpi+n\varpi')^2+\frac{(KK^{\text{IV}}-6K''^2)}{12.K^2}.a^4.(m\varpi+m\varpi')^4-\text{etc.}$$

De là il est facile de conclure que le logarithme du produit des facteurs

$$2\int\varphi\left(\frac{x}{a}\right).\cos(mx\varpi+nx\varpi');2\int\varphi\left(\frac{x}{a}\right).\cos(m^{(1)}x\varpi+n^{(1)}x\varpi'),\text{ etc.},$$

est, le signe S se rapportant à toutes les valeurs de i,

$$-\frac{K''}{K}.a^2.\left\{\varpi^2.S.m^{(i)2}+2\varpi\varpi'.S.m^{(i)}n^{(i)}+\varpi'^2.S.n^{(i)2}\right\}$$

$$+\frac{(KK^{\text{IV}}-6K''^2)}{12.K^2}.a^4.\left\{\varpi^4.S.m^{(i)4}+4\varpi^3\varpi'.S.m^{(i)3}n^{(i)}+\text{etc.}\right\}+\text{etc.}$$

En repassant des logarithmes aux nombres, on aura pour le produit lui-même,

$$\left\{1+\frac{(KK^{\text{iv}}-6K''^2)}{12.K^2}\cdot a^4\,(\varpi^4.\,S.m^{(i)4}+\text{etc.})+\text{etc.}\right\}$$
$$\times c^{-\frac{K''}{K}.\,a^2.\,[\varpi^2.S.m^{(i)2}+2\varpi\varpi'.S.m^{(i)}n^{(i)}+\varpi'^2.S.n^{(i)2}]}$$

En substituant donc, au lieu de ce produit, cette valeur dans la fonction intégrale (1), elle devient

$$\frac{1}{4\pi^2}.\iint d\varpi.d\varpi'.\left[1+\frac{(KK^{\text{iv}}-6K''^2)}{12.K^2}.\,a^4.\,(\varpi^4.\,S.m^{(i)4}+\text{etc.})+\text{etc.}\right]$$
$$\times c^{-l\varpi\sqrt{-1}-l'\varpi'\sqrt{-1}-\frac{K''}{K}.\,a^2[\varpi^2.S.m(i)^2+2\varpi\varpi'.S.m(i)n(i)+\varpi'^2.S.n^{(i)2}]}$$

s étant le nombre des observations, que nous supposerons très-grand, faisons

$$a\varpi.\sqrt{s}=t;\quad a\varpi'.\sqrt{s}=t',$$

cette intégrale devient

$$\frac{1}{4\pi^2.a^2s}.\iint dt.dt'.\left\{\begin{array}{l}\left[1+\frac{(KK^{\text{iv}}-6K''^2)}{12.K^2}.\left(\frac{t^4.S.m^{(i)4}}{s^2}+\text{etc.}\right)+\text{etc.}\right]\\ \times c^{-\frac{lt.\sqrt{-1}}{a\sqrt{s}}-\frac{l't'.\sqrt{-1}}{a\sqrt{s}}}\\ \times c^{-\frac{K''}{K}.\left[\frac{t^2.S.m(i)^2}{s}+\frac{2tt'.S.m^{(i)}n^{(i)}}{s}+\frac{t'^2.S.n^{(i)2}}{s}\right]}\end{array}\right\}.$$

$S.\,m^{(i)2}$, $S.\,m^{(i)4}$, $S.\,m^{(i)}n^{(i)}$, etc. sont évidemment des quantités de l'ordre s; en négligeant donc les termes de l'ordre $\frac{1}{s}$, vis-à-vis de l'unité, l'intégrale précédente se réduit à

$$\frac{1}{4\pi^2a^2s}.\iint dt.\,dt'$$
$$\times c^{-\frac{lt.\sqrt{-1}}{a.\sqrt{s}}-\frac{l't'\sqrt{-1}}{a.\sqrt{s}}-\frac{K''}{K}.\left[\frac{t^2.S.\,m(i)^2}{s}+\frac{2tt'.S.m(i)n(i)}{s}+\frac{t'^2.S.n(i)^2}{s}\right]}\quad(2);$$

L'intégrale relative à ϖ étant prise depuis $\varpi=-\pi$ jus-

qu'à $\varpi = \pi$, l'intégrale relative à t doit être prise depuis $t = -a\pi.\sqrt{s}$ jusqu'à $t = +a\pi.\sqrt{s}$; et dans ces deux cas, l'exponentielle sous le signe $\int$ est insensible à ces deux limites, soit parce que s est un grand nombre, soit parce que a est ici supposé divisé dans une infinité de parties prises pour unité; on peut donc prendre l'intégrale relative à t depuis $t = -\infty$ jusqu'à $t = \infty$, et il en est de même de l'intégrale relative à t'. Cela posé, si l'on fait

$$t'' = t + t'.\frac{S.m^{(i)}n^{(i)}}{S.m^{(i)2}} + \frac{Kl\sqrt{s}.\sqrt{-1}}{2K''a.S.m^{(i)2}};$$

$$t''' = t' - \frac{K.\sqrt{s}}{2K''a}.\frac{(l.S.m^{(i)}n^{(i)} - l'.S.m^{(i)2}).\sqrt{-1}}{S.m^{(i)2}.S.n^{(i)2} - (S.m^{(i)}n^{(i)})^2};$$

si l'on fait ensuite

$$E = S.m^{(i)2}.S.n^{(i)2} - (S.m^{(i)}n^{(i)})^2;$$

la double intégrale précédente devient

$$c^{-\frac{K}{4K''a^2E}.[l^2.S.n^{(i)2} - 2ll'.S.m^{(i)}n^{(i)} + l'^2.S.m^{(i)2}]}$$

$$\times \iint \frac{dt''.dt'''}{4\pi^2a^2s}.c^{-\frac{K''}{K}.t''^2.\frac{S.m^{(i)2}}{s} - \frac{K''}{K}.t'''^2.\frac{E}{s.S.m^{(i)2}}}$$

Les intégrales relatives à t'' et t''' doivent être prises comme celles qui sont relatives à t et t', entre les limites infinies positives et négatives; or on a dans ces limites, par les théorèmes connus,

$$\int dt.c^{-\mathfrak{C}t^2} = \frac{\sqrt{\pi}}{\mathfrak{C}};$$

la fonction (2) se réduit donc ainsi à

$$\frac{K}{4K''\pi.a^2\sqrt{E}}.c^{-\frac{K}{4K''a^2E}.[l^2.S.n^{(i)2} - 2ll'.S.m^{(i)}n^{(i)} + l'^2.S.m^{(i)2}]} \quad (3)$$

Il faut maintenant, pour avoir la probabilité que les valeurs de l et de l' seront comprises dans des limites données, multiplier cette quantité par $dl.dl'$, et l'intégrer ensuite dans ces limites; en nommant donc x cette quantité, la probabilité dont il s'agit sera $\int\int x\,dl.dl'$. Mais pour avoir la probabilité que les erreurs u et u' des corrections des élémens seront comprises dans des limites données, il faut substituer dans cette intégrale, au lieu de l et de l', leurs valeurs en u et u'. Si l'on différentie ces valeurs en supposant l' constant, on a

$$dl = du.\,S.m^{(i)}p^{(i)} + du'.\,S.m^{(i)}q^{(i)};$$
$$0 = du.\,S.n^{(i)}p^{(i)} + du'.\,S.n^{(i)}q^{(i)};$$

ce qui donne en faisant

$$I = S.m^{(i)}p^{(i)}.\,S.n^{(i)}q^{(i)} - S.n^{(i)}p^{(i)}.\,S.m^{(i)}q^{(i)};$$

$$dl = \frac{I.\,du}{S.n^{(i)}q^{(i)}}:$$

Si l'on différentie ensuite l'expression de l' en supposant u constant, on a

$$dl' = du'.\,S.n^{(i)}q^{(i)};$$

on aura donc

$$dl.\,dl' = I.\,du.\,du';$$

ainsi en supposant

$$F = S.n^{(i)2}(S.m^{(i)}p^{(i)})^2 - 2.\,S.m^{(i)}n^{(i)}.\,S.m^{(i)}p^{(i)}.\,S.n^{(i)}p^{(i)} + S.m^{(i)2}.\,(S.n^{(i)}p^{(i)2});$$

$$G = S.n^{(i)2}.\,S.m^{(i)}p^{(i)}.\,S.m^{(i)}q^{(i)} + S.m^{(i)2}.\,S.n^{(i)}p^{(i)}.\,S.n^{(i)}q^{(i)} - S.m^{(i)}n^{(i)}.\,(S.n^{(i)}p^{(i)}.\,S.m^{(i)}q^{(i)} + S.m^{(i)}p^{(i)}.\,S.n^{(i)}q^{(i)});$$

$$H = S.n^{(i)2}.\,(S.m^{(i)}q^{(i)})^2 - 2.\,S.m^{(i)}n^{(i)}.\,S.m^{(i)}q^{(i)}.\,S.n^{(i)}q^{(i)} + S.m^{(i)2}.\,(S.n^{(i)}q^{(i)})^2.$$

La fonction (3) multipliée par $dl.\,dl'$, et ensuite affectée du signe intégral, devient

$$\int\int \frac{K}{4K''\pi} \cdot \frac{I}{\sqrt{E}} \cdot \frac{du.du'}{a^2} \cdot c^{-\frac{K.(F.u^2+2G.uu'+H.u'^2)}{4K''a^2.E}} \quad (4).$$

Intégrons d'abord cette fonction par rapport à u', et dans toute l'étendue de ses limites. La valeur de $\frac{u'}{a}$ est finie à ces limites; mais comme dans l'exponentielle elle est multipliée par $\frac{G}{E}$ et $\frac{H}{E}$, et ces quantités étant de l'ordre s, parce que G et H sont de l'ordre s^3, tandis que E est de l'ordre s^2; cette exponentielle devient insensible à ces limites, et l'on peut étendre l'intégrale depuis $u' = -\infty$ jusqu'à $u' = \infty$. En faisant

$$t = \frac{\sqrt{\frac{KH}{4K''}} \cdot \left(u' + \frac{Gu}{H}\right)}{a.\sqrt{E}};$$

et prenant l'intégrale relative à t, depuis $t = -\infty$ jusqu'à $t = \infty$, la fonction (4) se réduit à

$$\int \sqrt{\frac{K}{4K''\pi}} \cdot \frac{du}{a} \cdot \frac{I}{\sqrt{H}} \cdot c^{-\frac{K.I^2.u^2}{4K''a^2.H}},$$

parce que

$$\frac{FH - G^2}{E} = I^2.$$

Maintenant, si l'on conçoit une courbe dont u soit l'abscisse, et dont l'ordonnée soit

$$\sqrt{\frac{K}{4K''\pi}} \cdot \frac{I}{a.\sqrt{H}} \cdot c^{-\frac{KI^2u^2}{4K''a^2.H}},$$

cette courbe que l'on peut étendre à l'infini, de chaque côté de l'ordonnée qui répond à u nul, sera la courbe des pro-

babilités des erreurs u de la correction du premier élément. Cela posé, toute erreur, soit positive, soit négative, doit être considérée comme un désavantage ou une perte réelle, à un jeu quelconque; or par les principes connus du calcul des probabilités, on évalue ce désavantage, en prenant la somme des produits de chaque erreur par sa probabilité; la valeur moyenne de l'erreur à craindre en plus ou en moins sur le premier élément, est donc

$$\pm\sqrt{\frac{K}{4K''\pi}} \cdot \frac{I}{a.\sqrt{H}} \int u du . c^{-\frac{KI.u^2}{4K''a^2.H}};$$

l'intégrale étant prise depuis $u=0$ jusqu'à $u=\infty$, le signe $+$ indiquant l'erreur moyenne à craindre en plus, et le signe $-$ indiquant l'erreur à craindre en moins. Cette erreur devient ainsi

$$\pm\sqrt{\frac{K''}{K\pi}} \cdot \frac{a.\sqrt{H}}{I}.$$

En y changeant H en F, on aura

$$\pm\sqrt{\frac{K''}{K\pi}} \cdot \frac{a.\sqrt{F}}{I}$$

pour l'erreur moyenne à craindre sur le second élément.

Déterminons présentement les facteurs $m^{(i)}$ et $n^{(i)}$, de manière que cette erreur soit un *minimum*. En faisant varier $m^{(i)}$ seul, on a

$$d.\log\frac{\sqrt{H}}{I} = dm^{(i)}.\frac{\{q^{(i)}.S.n^{(i)}p^{(i)} - p^{(i)}.S.n^{(i)}q^{(i)}\}}{I}$$

$$+ dm^{(i)}.\frac{\left\{\begin{array}{l} q^{(i)}.S.n^{(i)2}.S.m^{(i)}q^{(i)} - n^{(i)}.S.m^{(i)}q^{(i)}.Sn^{(i)}q^{(i)} \\ - q^{(i)}.S.m^{(i)}n^{(i)}.S.n^{(i)}q^{(i)} + m^{(i)}.(S.n^{(i)}q^{(i)})^2 \end{array}\right\}}{H}.$$

Il est facile de voir que cette différentielle disparaît, si l'on suppose dans les coefficiens de $dm^{(i)}$,

$$m^{(i)} = \mu . p^{(i)}; \quad n^{(i)} = \mu . q^{(i)};$$

μ étant un coefficient arbitraire indépendant de i, et au moyen duquel on peut rendre m, $m^{(i)}$, etc. des nombres entiers, comme l'analyse précédente l'exige. La supposition précédente rend donc nulle la différentielle de $\frac{\sqrt{H}}{I}$ prise par rapport à $m^{(i)}$. On verra de la même manière, qu'elle rend nulle la différentielle de la même quantité, prise par rapport à $n^{(i)}$; ainsi cette supposition rend un *minimum* l'erreur moyenne à craindre sur la correction du premier élément; et l'on verra de la même manière, qu'elle rend encore un *minimum* l'erreur moyenne à craindre sur la correction du second élément. Dans cette supposition, les corrections des deux élémens sont

$$z = \frac{S.q^{(i)2}. S.p^{(i)}\alpha^{(i)} - S.p^{(i)}q^{(i)}. S.q^{(i)}\alpha^{(i)}}{S.p^{(i)}. S.q^{(i)} - (S.p^{(i)}q^{(i)})^2},$$

$$z' = \frac{S.p^{(i)2}. S.q^{(i)}\alpha^{(i)} - S.p^{(i)}q^{(i)}. S.p^{(i)}\alpha^{(i)}}{S.p^{(i)2}. S.q^{(i)2} - (S.p^{(i)}q^{(i)})^2}.$$

Ces corrections sont celles que donne la méthode des moindres carrés des erreurs des observations, ou la condition du *minimum* de la fonction

$$S.(p^{(i)}.z + q^{(i)}.z' - \alpha^{(i)})^2,$$

d'où il suit que cette méthode a généralement lieu, quel que soit le nombre des élémens à déterminer; car il est visible que l'analyse précédente peut s'étendre à un nombre quelconque d'élémens. L'erreur moyenne à craindre sur le premier élément devient alors $\pm a$.

$$\pm a. \frac{\sqrt{\frac{K''}{K\pi}}.\sqrt{S.q^{(i)2}}}{\sqrt{S.p^{(i)2}.S.q^{(i)2}-(S.p^{(i)}q^{(i)})^2}}$$

et sur le second élément, elle devient

$$\pm a. \frac{\sqrt{\frac{K''}{K\pi}}.\sqrt{S.p^{(i)2}}}{\sqrt{S.p^{(i)2}.S.q^{(i)2}-(S.p^{(i)}q^{(i)})^2}}$$

On voit ainsi que le premier élément sera plus ou moins bien déterminé que le second, suivant que $S.q^{(i)2}$ sera plus petit ou plus grand que $S.p^{(i)2}$.

Si les r premières équations de condition ne renferment point q, et si les $s-r$ dernières ne renferment point p; alors $S.p^{(i)}q^{(i)}$ est nul, et la première des deux formules précédentes devient

$$\pm \frac{a.\sqrt{\frac{K''}{K\pi}}}{\sqrt{S.p^{(i)2}}};$$

Le signe S se rapportant à toutes les valeurs de i, depuis $i=0$, jusqu'à $i=r-1$: c'est la formule relative à un seul élément déterminé par un grand nombre r d'observations ; elle s'accorde avec celle que nous avons trouvée dans l'article VI.

Dans toutes ces formules, le facteur $a.\sqrt{\frac{K''}{K}}$ est inconnu. On peut prendre pour a l'écart du résultat moyen, qui ferait rejeter une observation. Si l'on suppose $\varphi\left(\frac{x}{a}\right)$ égal à une constante, on a $\frac{K''}{K}=\frac{1}{6}$: c'est la plus grande valeur que l'on puisse supposer à la fraction

$\frac{K''}{K}$; comme on l'a vu dans l'article cité; mais la remarque suivante ôte toute incertitude sur le facteur dont il s'agit. J'ai reconnu, et je prouverai dans un Ouvrage que je vais bientôt publier sur les probabilités, que la somme des carrés des erreurs d'un grand nombre s d'observations, peut être supposée à très-peu près égale à $2s\frac{a^2 K''}{K}$: or on a cette somme, en substituant dans chaque équation de condition, les corrections des élémens, déterminées par la méthode des moindres carrés des erreurs des observations; car si l'on nomme $\varepsilon^{(i)}$ ce qui reste après ces substitutions, dans l'équation de condition $(i+1)^{ième}$, cette somme sera à très-peu près $S.\varepsilon^{(i)2}$; en l'égalant donc à $2s.a^2\frac{K''}{K}$, on aura

$$a.\sqrt{\frac{K''}{K}}=\sqrt{\frac{S.\varepsilon^{(i)2}}{2s}}.$$

Pour un seul élément, l'erreur moyenne devient donc ainsi

$$\sqrt{\frac{S.\varepsilon^{(i)2}}{2s\pi}}.\frac{1}{\sqrt{S.p^{(i)2}}}. \qquad (a)$$

De là résulte cette règle générale pour avoir l'erreur moyenne à craindre, quel que soit le nombre des élémens. Représentons généralement les équations de condition par la suivante :

$$\varepsilon^{(i)}=p^{(i)}.z+q^{(i)}.z'+r^{(i)}.z''+t^{(i)}.z'''+\text{etc.}-\alpha^{(i)},$$

z, z', z'', z''', etc., étant les corrections de ces élémens.

Lorsqu'il y a deux élémens, on aura l'erreur moyenne

à craindre sur le premier élément, en changeant dans la fonction $(a)\, S.\,p^{(i)^2}$ dans

$$S.\,p^{(i)2} - \frac{(S.\,p^{(i)}\,q^{(i)})^2}{S.\,q^{(i)2}}.$$

On aura ainsi une expression que nous désignerons par (a').

Lorsqu'il y aura trois élémens, on aura l'erreur à craindre sur le premier élément, en changeant dans l'expression (a'), $S.\,p^{(i)2}$ dans

$$S.p^{(i)} - \frac{(S.p^{(i)}r^{(i)})^2}{S.\,r^{(i)2}},\ S.\,q^{(i)2} \text{ dans } S.\,q^{(i)2} - \frac{(S.\,q^{(i)}r^{(i)})^2}{S.\,r^{(i)2}},$$

et $$S.\,p^{(i)}q^{(i)} \text{ dans } S.\,p^{(i)}\,q^{(i)} - \frac{S.\,p^{(i)}\,r^{(i)}S.\,q^{(i)}\,r^{(i)}}{S.\,r^{(i)2}}.$$

On formera ainsi une expression que nous désignerons par (a'').

Lorsqu'il y a quatre élémens, on aura l'erreur moyenne à craindre sur le premier élément, en changeant dans l'expression, (a'') $S.p^{(i)2}$ dans

$$S.p^{(i)2} - \frac{S.p^{(i)}t^{(i)2}}{S.\,t^{(i)2}},\ S.p^{(i)}q^{(i)} \text{ dans } S.\,p^{(i)}q^{(i)} - \frac{S.p^{(i)}t^{(i)}.\ S.q^{(i)}t^{(i)}}{S.t^{(i)2}}, \text{ etc.}$$

En continuant ainsi, on aura l'erreur moyenne à craindre sur le premier élément, quel que soit le nombre des élémens. En changeant dans l'expression de cette erreur, ce qui est relatif au premier élément, dans ce qui est relatif au second et réciproquement; on aura l'erreur moyenne à craindre sur cet élément, et ainsi des autres.

MÉMOIRES

DE LA CLASSE

DES SCIENCES MATHÉMATIQUES

ET PHYSIQUES

DE L'INSTITUT

DE FRANCE.

ANNÉE 1810.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS CE SEMESTRE.

N. B. L'Histoire de la Classe doit se placer au commencement de la Ire Partie 1810.

MÉMOIRES

DE LA CLASSE

DES SCIENCES MATHÉMATIQUES

ET PHYSIQUES

DE L'INSTITUT

DE FRANCE.

ANNÉE 1810.

SECONDE PARTIE.

A PARIS,

Chez FIRMIN DIDOT, Imprimeur de l'Institut de France,
et Libraire pour les Mathématiques, rue Jacob, nº 24.

M. DCCC. XIV.

HISTOIRE
DE LA CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES DE L'INSTITUT IMPÉRIAL DE FRANCE.

ANALYSE

Des Travaux de la Classe des Sciences Mathématiques et Physiques de l'Institut, pendant l'année 1810.

PARTIE MATHÉMATIQUE,

PAR M. le chevalier DELAMBRE, Secrétaire perpétuel.

QUOIQUE les géomètres de l'Institut se soient exercés presque tous, dans le courant de l'année 1810, sur des questions importantes qu'ils ont traitées avec cette supériorité qui est universellement reconnue, notre notice n'aura pourtant que fort peu d'étendue, pour plusieurs raisons. D'abord, leurs mémoires font suite à des mémoires antérieurs dont nous avons déja parlé : il nous suffira donc d'annoncer en peu de mots les nouveaux résultats auxquels ils sont parvenus ; ensuite, par un usage suivi de tout temps, même dans l'Aca-

démie des Sciences, pour les mémoires d'un grand intérêt, on ne s'est pas cette année assujéti scrupuleusement à l'ordre chronologique ; et le volume de 1809, qui a paru déja depuis long-temps, renferme par anticipation des travaux qui appartiennent à l'an 1810 : en sorte que les productions qui devraient être l'objet de cette Notice, sont déja entre les mains des savans, à qui il ne nous reste plus rien à apprendre ni à promettre. Tous ont déja lu sans doute le Mémoire du 19 février 1810, où M. Lagrange est parvenu, d'une manière facile et abrégée, à simplifier l'application des formules générales qu'il avait données pour les variations des constantes arbitraires dans les problèmes de mécanique.

M. Poisson avait précédemment traité le même sujet. Pour faciliter l'application de ces formules, il leur avait donné une forme inverse en exprimant les constantes arbitraires en fonctions des variables du problême et de leurs différentielles. Celles que M. Lagrange vient de trouver n'offrent ces constantes qu'en fonctions d'autres constantes, et elles conduisent aux mêmes résultats.

L'art qui brille dans cette nouvelle production n'est pas celui qui conduit avec sûreté l'analyste dans les détours du long calcul qu'on aurait cru indispensable dans une recherche pareille ; mais celui qui rend, pour ainsi dire, le calcul inutile, en faisant voir d'avance la forme qu'il prendra nécessairement, le résultat auquel il doit conduire, et les termes qui disparaîtront. Il n'appartient qu'au génie fortifié par une longue expérience, de donner ainsi des solutions faciles et directes de problêmes qui ne laissaient pas espérer cette heureuse simplification.

Dans ses recherches sur le système du monde, M. Laplace avait été conduit à des réflexions très-curieuses et très-philosophiques sur la cause qui a pu faire que toutes les planètes accomplissent leurs révolutions, toutes dans le même sens, dans des orbites peu inclinées les unes sur les autres, et pour ainsi dire dans un même plan. On ignore quelle peut être cette cause, et l'on n'en pourrait guère assigner d'autre que la volonté arbitraire de l'auteur de tous ces mondes qui, en les créant, leur aurait imprimé cette direction commune. Une pareille uniformité paraîtrait bien singulière si elle était un pur effet du hasard ; il est bien plus probable qu'elle est due à une cause quelconque, et c'est ce que M. Laplace a prouvé par le calcul, en déterminant le degré de probabilité que peut avoir un arrangement presque unique entre des milliers d'arrangemens tous différens qu'aurait permis l'absence d'une cause générale.

Supposant donc que toutes les planètes aient pu dans l'origine se mouvoir indifféremment dans tous les sens, et que rien n'ait déterminé leurs mouvemens à suivre la direction qui s'observe, M. Laplace démontre que la probabilité de cet état de choses est exprimée par le nombre fractionnaire 1.0972 divisé par la dixième puissance du nombre dix, c'est-à-dire l'unité suivie de dix zéros, fraction si petite que l'on peut à bon droit la regarder comme nulle ; d'où résulte cette conclusion infiniment probable, qu'une cause primitive a produit l'ordre que nous observons en déterminant toutes les planètes à se rapprocher du plan de l'équateur solaire. Il en est absolument de même du mouvement de rotation des onze planètes, qui se fait aussi dans le même sens que la rotation du soleil.

Si l'on joint à toutes ces planètes leurs satellites et l'anneau de Saturne, la probabilité que l'uniformité dans le sens des mouvemens n'aurait pas lieu sans une cause déterminante, est à la certitude ce qu'est à l'unité l'unité même diminuée seulement d'une fraction dont le numérateur est l'unité, et le dénominateur la quarante-deuxième puissance de deux; en sorte qu'ici la probabilité ne diffère plus guère de la certitude.

L'auteur applique ensuite la même théorie aux comètes dont le nombre connu est jusqu'ici de quatre-vingt-dix-sept; elles se meuvent dans tous les sens et dans des orbites inclinées de toutes les manières. La formule se complique, et ce qu'il y a de plus incommode, c'est que la précision avec laquelle il faudrait évaluer les termes nombreux dont elle se compose, rend le calcul impraticable par les moyens ordinaires. Nous n'exposerons pas les ressources ingénieuses employées par l'auteur pour arriver à une solution commode; il nous suffira de dire que les probabilités pour ou contre diffèrent si peu qu'elles n'offrent aucune raison assez valable pour que nous puissions affirmer l'existence de cette cause primitive d'uniformité qui paraîtrait à-peu-près indubitable, à ne considérer que les planètes.

Jusqu'ici cette théorie savante, appliquée à une question difficile, n'offre encore qu'un intérêt de curiosité affaibli même en quelque sorte par les résultats opposés qu'elle offre quand on examine les planètes seules ou quand on y ajoute les comètes. Si la question a de la grandeur, on peut dire d'un autre côté qu'il importe assez peu qu'elle soit résolue; mais la théorie s'applique également à toutes les questions de probabilité parmi lesquelles il peut s'en trouver de plus

utiles ; et en effet M. Laplace en propose aussitôt une application dont l'usage est aussi fréquent que réel.

Malgré les progrès étonnans qu'a faits de nos jours l'art de construire et de diviser les instrumens de physique et d'astronomie, les expériences et les observations les plus soignées sont encore sujettes à des erreurs inévitables. Pour en diminuer l'effet et le rendre insensible, on multiplie les observations et on les combine de diverses manières. Ces soins répétés, tout ce travail même donne lieu à de nouvelles incertitudes. Quand on a ainsi amassé un grand nombre d'observations qui diffèrent très-peu entre elles, mais qui diffèrent pourtant, quel est l'usage le mieux entendu qu'on en puisse faire, à quel résultat doit-on s'arrêter, comme le plus probable, et quelle est la limite de l'incertitude? Voilà la question très-usuelle que M. Laplace résout dans toute sa généralité, et qu'il circonscrit ensuite pour la borner au cas le plus ordinaire où la possibilité des erreurs est renfermée dans des limites d'autant plus resserrées, que les instrumens sont plus parfaits, et l'observateur plus scrupuleux et plus exercé.

Dans un supplément imprimé à la fin du même volume de 1809, M. Laplace compare sa théorie à celles de Bernoulli, d'Euler, et de M. Gauss ; il fait voir que, dans la question qu'il a traitée, toutes ces méthodes sont d'accord par une circonstance qui ne se rencontre pas toujours ; ce qui rendait nécessaire une formule plus générale.

Dans son Mémoire sur les transcendantes elliptiques, publié en 1793 et continué dans le volume de 1809, M. Legendre avait pour but d'étendre le domaine de l'analyse

en introduisant dans le calcul une espèce de transcendantes d'un ordre supérieur aux arcs de cercle et aux logarithmes; c'est à ce travail qu'il vient d'ajouter de nouveaux développemens dans un mémoire lu à la Classe dans le courant de décembre 1810.

On se rappelle que M. Legendre désigne par le nom de *transcendantes elliptiques* toutes les intégrales des différentielles appliquées à une variable, et affectées d'un radical quarré sous lequel la variable ne passe pas le quatrième degré.

Euler, Landen, et M. Lagrange, avaient laissé les fonctions elliptiques sous une forme purement algébrique; M. Legendre a reconnu le premier qu'on pouvait les simplifier considérablement par l'emploi d'un angle qu'il appelle *amplitude de la fonction*, et au moyen duquel la différentielle à intégrer ne contient plus qu'un radical qui se ramène naturellement aux fonctions angulaires, et par-là les fonctions elliptiques s'assimilent aux arcs des courbes qui, comme l'ellipse, sont divisées en quatre parties égales et semblables : de sorte qu'il suffit de connaître ces fonctions depuis zéro jusqu'à 90 degrés, par où l'on se met en même temps à l'abri des erreurs où l'on pourrait tomber par l'omission des demi-circonférences, lorsque les questions donnent lieu à considérer des arcs indéfinis.

De-là trois sortes de fonctions, selon que le radical dont nous avons parlé se trouve diviseur ou multiplicateur dans la fonction, ou bien qu'outre ce diviseur la fonction en a encore un autre de la forme ($1 + n. \sin.^2. \varphi$), n pouvant être un nombre positif, négatif ou imaginaire.

Dans la première espèce, on peut déterminer par des opérations purement algébriques une fonction égale à la somme

ou à la différence de deux autres fonctions : on le peut de même par une fonction qui se trouve en rapport rationnel avec une fonction donnée ; propriété qui appartient également aux arcs de cercle et aux logarithmes.

Les arcs d'ellipse et d'hyperbole jouissent d'une propriété analogue, mais un peu moins simple. Deux arcs étant donnés sur ces courbes, on peut trouver algébriquement un arc égal à leur somme augmentée ou diminuée d'une quantité algébrique.

Ces fonctions réunissent tant de propriétés, et sont si utiles à introduire dans l'analyse, que M. Legendre exprime le vœu qu'on leur impose un nom particulier, et que ce nom puisse rappeler ou l'analogie qu'elles ont avec les quantités angulaires, ou la propriété qu'elles ont de mesurer le temps du mouvement d'un pendule simple.

Les fonctions elliptiques de la troisième espèce offrent des comparaisons du même genre. Étant données deux fonctions de cette troisième espèce rapportées au même paramètre, on peut trouver généralement une troisième fonction égale à leur somme, plus ou moins une quantité déterminable par des arcs de cercle ou par les logarithmes.

On n'a pas lieu d'espérer qu'on puisse en général réduire une fonction proposée de la troisième espèce à l'une des fonctions inférieures ; mais on le peut dans les cas indiqués par M. Legendre dans son premier mémoire.

Il considère ici ces réductions sous un point de vue plus général, et parmi les nouveaux résultats auxquels il est parvenu, l'un des plus remarquables est celui-ci : toute fonction de troisième espèce qui est complète, ou dont l'amplitude est égale à un angle droit, peut se déterminer exactement par

des fonctions de première et de seconde espèce. M. Legendre en fait aussitôt l'application à la détermination de la surface du cône oblique et à la construction de l'espèce de spirale comprise entre deux parallèles, qui est le chemin le plus court sur la surface d'un ellipsoïde de révolution, c'est-à-dire la ligne connue sous le nom de *loxodromie,* que décrit un vaisseau qui coupe sous un angle constant tous les méridiens elliptiques qu'il traverse successivement.

Pour compléter cette théorie, l'auteur examine si les fonctions elliptiques de la troisième espèce dont le paramètre est imaginaire, peuvent se ramener à des fonctions de la même espèce dont le paramètre soit réel. Il trouve heureusement que cette réduction est possible ; ce qui justifie la distinction établie entre les trois espèces : en sorte que cette théorie, ainsi complétée, peut être regardée maintenant comme l'une des plus intéressantes et les plus fécondes de l'analyse.

Nous avons eu plus d'une occasion de parler des travaux de MM. Biot et Arago, pour la prolongation de la méridienne jusqu'aux Baléares, de la confirmation qui en est résultée pour la longueur du mètre déterminé antérieurement à leurs observations ; nous avons fait connaître quelques-unes des conséquences des nouvelles mesures du pendule exécutées par MM. Biot, Arago, et Mathieu, sur divers points de la méridienne et aux bords de la mer à Formentera, Bordeaux, et Dunkerque. Il nous reste à rendre compte d'un travail particulier que M. Biot a fait sur les réfractions terrestres, d'après les observations qu'il a répétées un grand nombre de fois sur le bord de la mer à Dunkerque, et dans lesquelles il

a été parfaitement secondé par M. Mathieu. Le mémoire dans lequel M. Biot a exposé sa théorie et les détails de ses expériences, date du mois d'août 1808 ; mais l'auteur l'ayant aussitôt retiré pour y joindre de nouveaux développemens, et l'ayant presque aussi-tôt livré à l'impression pour le volume de 1809, nous n'avons pu en donner plutôt l'analyse qui devient aujourd'hui presque superflue.

On sait que les objets vus près de l'horizon envoient quelquefois deux images, l'une directe et l'autre renversée ; ce phénomène est connu des marins sous le nom de *Mirage*. Picard l'observa dans son *Voyage d'Uranibourg ;* on en voit quelques descriptions dans des Mémoires de Dominique et Jacques Cassini ; M. Huddart, dans les *Transactions philosophiques* de 1797, en fit l'objet spécial de recherches assez étendues, mais l'explication qu'il en donna parut incomplète. Plus anciennement M. Vince avait décrit un grand nombre de phénomènes de ce genre et tous des plus singuliers. Il les explique par la densité différente des couches de l'atmosphère et par des trajectoires concaves du côté de la surface de la mer. M. Biot croit au contraire que la courbure n'est pas toujours dirigée dans le même sens, et que les trajectoires sont sinueuses. M. Vince n'avait observé qu'au télescope simple, sans mesurer la dépression de l'horizon et celle des images.

Le phénomène de mirage le plus apparent, et l'un des mieux constatés, est celui que M. Monge rapporte dans les Mémoires de l'Institut d'Égypte. Lorsque l'armée française entra dans le désert, la vaste plaine horizontale qu'elle traversait parut toute couverte d'eau. Les villages bâtis sur de petites éminences présentaient de loin, outre leur image

directe, une image renversée. Séduits par cette illusion, les soldats coururent vers cette eau imaginaire qui fuyait devant eux, et ne laissait à sa place qu'un sol aride et desséché.

M. Monge avait donné de ce phénomène une explication vraie, à laquelle les calculs plus rigoureux, faits plus à loisir par M. Biot, n'ont apporté que de légères modifications.

Dans le temps même où M. Monge décrivait et expliquait le mirage en Égypte, M. Wollaston en Angleterre attribuait pareillement les doubles images à une densité de l'air qui croît de bas en haut par l'effet de la chaleur du sol ; et pour appuyer cette explication, il imitait les phénomènes, en les observant sur des corps échauffés, à travers des liquides d'inégales densités, et même sur la surface d'un fer rouge. Les observations de M. Vince ne laissent rien à desirer pour le soin et l'exactitude, mais sa théorie n'est qu'indiquée, il ne donne pas les équations des trajectoires, et ne discute pas les différentes manières dont elles peuvent se couper ; il n'a donc pu calculer ni le nombre des images, ni leur situation, ni le rapport du phénomène avec la position de l'objet. Mais un fait important qu'il a constaté, c'est que toutes les fois qu'il a observé le mirage, la température de l'eau était plus chaude que celle de l'air.

On connaissait donc assez bien les principaux phénomènes du mirage, on en avait même indiqué la cause physique ; mais l'explication avait encore ce vague que laissent toutes les théories purement physiques, jusqu'à ce qu'un géomètre parvienne à les soumettre au calcul mathémathique, qui seul peut opérer la pleine conviction par la précision avec laquelle il sait rendre raison des plus petites circonstances des phénomènes et de toutes les irrégularités apparentes dont ils sont parfois accompagnés.

M. Weltmann avait suivi ces mêmes phénomènes pendant plus d'une année ; mais dépourvu d'instrumens qui pussent lui donner la mesure précise des réfractions absolues, il n'en avait guère observé que les variations.

M. de Humboldt avait aussi fait des observations de mirage entre les tropiques ; mais il en avait donné les mesures exactes et noté toutes les circonstances d'une manière qui ne laissait rien à desirer pour les soumettre à un calcul rigoureux.

Enfin, Legentil avait observé à Pondichéri et sur les côtes de Normandie des phénomènes qu'on peut ranger dans la même classe, qui n'avaient pas encore été bien expliqués, et qui découlent des mêmes principes.

Mais quels que puissent être les soins et la sagacité des physiciens qui observent des faits dont ils ne connaissent que vaguement la cause, sans en posséder la théorie complète, on sent que beaucoup de particularités intéressantes peuvent leur échapper, qu'ils n'observent les phénomènes que quand le hasard les leur présente, qu'ils ne peuvent se faire une idée des causes accidentelles qui peuvent les modifier et les rendre insensibles ; au lieu que le géomètre qui a su réduire en formules tous les faits observés, trouve dans ces formules mêmes quelles sont les circonstances les plus propres à donner aux effets la plus grande intensité, celles qui les atténuent ou les empêchent de paraître. Il se rend attentif aux variations les plus légères, et se met en état de faire des remarques neuves et importantes en même temps qu'il rend raison de tout ce qui a été observé avant lui.

Tel est l'avantage qu'avait M. Biot sur tous ceux qui l'avaient précédé dans cette carrière ; et le voyage qu'il fit à

Dunkerque dans l'hiver de 1808, pour la mesure du pendule et pour d'autres observations dont il rendra compte successivement, lui a fourni l'occasion la plus favorable qu'il pût souhaiter pour la confirmation de sa théorie.

Là tout conspirait au succès de ses expériences. La situation de Dunkerque sur une rive qui est une longue plaine sablonneuse garnie à l'horizon d'une multitude d'objets divers, arbres, clochers, maisons, dont il pouvait mesurer les hauteurs ou les dépressions ; la faculté de faire marcher dans la direction du phénomène des hommes munis de longues perches qui devenaient autant de signaux et présentaient eux-mêmes des phénomènes variés suivant les densités et les hauteurs diverses de la couche atmosphérique dans laquelle ils étaient plongés pour le moment ; la possibilité de se placer à des hauteurs connues au-dessus de la mer, circonstance qui faisait varier sensiblement les images transmises par des rayons qui rasaient le sol dans une longue étendue ; la découverte d'une station où tous les jours ils pouvaient observer le mirage et des images simples qui leur paraissaient suspendues au-dessus de l'horizon ; enfin, un bon cercle répetiteur, et des thermomètres pour mesurer les dépressions et les températures diverses : c'est avec toutes ces ressources et ces facilités que MM. Biot et Mathieu ont fait les observations rapportées dans le Mémoire dont nous bornerons l'analyse à ce peu de mots, en renvoyant à l'ouvrage même qui ouvre le volume de 1809, et qu'on peut se procurer séparément chez l'imprimeur de l'Institut.

On peut aussi trouver à la même adresse la *Théorie de la double réfraction*, par M. Malus, nouvellement reçu à l'Insti-

tut, dans la section de physique générale, à la place de M. Mongolfier. Cet ouvrage est composé de deux parties : l'une qui contient la théorie générale de l'optique, dont nous avons déja parlé dans nos précédens extraits, en rapportant la substance du compte avantageux qu'en avaient rendu les commissaires de la Classe ; cette partie était destinée à paraître dans le prochain volume des *Mémoires présentés par les Savans étrangers*. L'autre, qui avait aussi de droit la même destination, est le Mémoire couronné en janvier 1810, qui a pour objet la *Théorie de la double réfraction*. Le jugement de la Classe, le choix qu'elle vient de faire de l'auteur pour remplir une place devenue vacante, nous dispensent de donner notre opinion sur un ouvrage où l'on trouvera réunies des connaissances mathématiques très-étendues, et l'art de varier et de combiner les expériences les plus délicates, pour en déduire la solution d'une question difficile. On peut y voir, à l'article 63, des développemens curieux de la théorie mathématique du micromètre prismatique inventé par M. Rochon, pour mesurer les diamètres du soleil, de la lune et des planètes, et la distance d'un objet terrestre. Qu'il nous soit permis à ce sujet de réparer ici une omission involontaire commise dans l'un de nos précédens volumes.

A l'occasion de deux lunettes que M. Rochon avait fait travailler par ordre du Gouvernement, nous avions été conduits à faire quelques expériences sur l'usage des micromètres prismatiques, et sur la précision qu'on en peut attendre. Nous les avions comparés aux divers micromètres dont se servent les astronomes. On sait que M. Rochon place son prisme dans l'intérieur d'une lunette, entre l'objectif et l'oculaire, dont il peut l'approcher ou l'éloigner à volonté. La

lumière, divisée par le prisme, produit deux images de l'objet, qui se confondent en une seule si le prisme est au foyer de la lunette, et qui se séparent si le prisme a glissé le long de l'axe. En ce cas, une échelle extérieure indiquera le chemin qu'il aura fait. Si le chemin est tel que les deux images se touchent par leurs points opposés, on peut, d'après l'observation, calculer l'angle que soutend l'image; et c'est ainsi que M. Rochon mesure les diamètres des planètes ; si les dimensions de l'objet observé sont connues, on en déduit la distance de cet objet à l'observateur. Ainsi à la mer, quand on aura fait coïncider par les deux extrémités les deux images du grand mât d'un vaisseau dont on connaîtra le rang, comme alors ce sera la dimension qui sera donnée, on en conclura la distance du vaisseau. Si la dimension est inconnue, la lunette n'en pourra pas moins rendre un service important, et montrer si le vaisseau s'approche ou s'éloigne, si l'on peut espérer de l'atteindre ou de lui échapper. Il suffit, après avoir mis les deux images en contact, d'attendre quelques instans pour voir si elles se séparent ou si elles commencent à empiéter l'une sur l'autre. On verra que la distance a changé, et l'on saura dans quel sens. Nous avions, dans un rapport fait à la Classe, cité quelques exemples remarquables de ce dernier usage, d'après des expériences faites à la mer ; nous avions donné les résultats de nos propres observations, pour déterminer notre distance au Panthéon d'après les dimensions connues du dôme. Cette distance, mesurée successivement par les micromètres ordinaires et par la lunette de M. Rochon, s'était trouvée la même que celle qui nous était connue par une opération trigonométrique. Nous rendions compte des efforts heureux

de M. Rochon pour étendre l'usage de son micomètre, en augmentant l'angle qu'il peut mesurer. Il y était parvenu par la manière avantageuse dont il faisait tailler son prisme. Cette manière était le résultat de longues expériences ; elle se trouve aujourd'hui pleinement expliquée par la théorie de M. Malus. Ce rapport, que nous avions lu à la Classe des Sciences, avait été, peu de jours après, imprimé dans le *Moniteur ;* nous n'en avions conservé aucune copie, et nous avions oublié de l'insérer dans l'Histoire des Travaux de la Classe.

En rendant compte, dans le volume précédent, des recherches de M. Arago sur la vîtesse de la lumière, nous avons annoncé que l'auteur se proposait de donner une suite à ce travail important ; il a en conséquence lu à la Classe, il y a quelques jours, un nouveau Mémoire dans lequel on a vu la pleine et entière confirmation de tout ce qu'il avait annoncé déja, des faits non moins curieux et des expériences encore plus concluantes ; il a même indiqué la cause de l'erreur qui avait pu conduire d'autres astronomes à quelques résultats un peu différens de ceux auxquels il est parvenu. Il attend les beaux jours pour tenter des épreuves nouvelles et tirer des conséquences dont il a lieu de se croire assuré, mais dont il veut donner des preuves auxquelles on ne puisse rien opposer. Nous n'entrerons pas aujourd'hui dans de plus grands détails, d'autant que son Mémoire n'a pu encore nous être remis, et nous attendrons qu'il ait entièrement accompli le projet qu'il a formé.

Nos tables solaires dont se servent aujourd'hui les astronomes, ont été fondées sur tout ce que l'on connaissait des

observations de Bradley, Lacaille, et Mayer, entre 1750 et 1756, sur un nombre considérable d'observations de M. Maskelyne, depuis 1765 jusqu'à 1802; pour déterminer l'obliquité de l'écliptique, nous avions employé douze solstices que nous avions observés soigneusement avec le cercle de Borda; pour déterminer la position des points équinoxiaux au commencement du siècle, nous avions observé avec le même soin des équinoxes de printemps et d'automne. Nous avions eu la satisfaction de voir tous les élémens de notre théorie confirmés presque aussitôt par les recherches particulières de plusieurs astronomes justement célèbres; et tout nous porte à penser que ces tables ont toutes la précision qu'on pouvait souhaiter et atteindre. Mais les astronomes ont reconnu dès long-temps la nécessité de n'accorder jamais une confiance entière même aux théories les mieux établies en apparence; et si cette précaution est sage pour tous les astres en général, elle est sur-tout indispensable pour les tables du soleil qui entrent comme élémens nécessaires dans tous les calculs astronomiques. On emploie donc sans cesse, à vérifier ces tables, les mêmes méthodes qui ont servi à les construire. Ainsi MM. Biot, Arago et Mathieu, se sont appliqués à l'observation des équinoxes et des solstices qui, outre les deux principaux élémens de la théorie du soleil, vérifient en même temps et la hauteur du pôle et nos tables modernes de réfraction.

Ces observations, faites en commun le plus souvent, et quelquefois par M. Mathieu tout seul, avaient de plus, en ce cas, l'avantage de montrer jusqu'à quel point on peut se fier aux cercles répétiteurs à niveau fixe, qui pouvaient à certains égards inspirer moins de confiance, en ce qu'ils exigent

de la part de l'artiste beaucoup plus de soin et d'habileté. Nous avons le plaisir d'annoncer que les nouveaux cercles ont fort bien soutenu cette épreuve, et qu'en comparant les diverses séries d'observations, il serait difficile de distinguer celles qui sont l'ouvrage d'un seul observateur, d'avec celles qui ont été faites par deux personnes réunies.

M. Mathieu a calculé toutes les observations ; il les a comparées aux tables, et, par un milieu entre les solstices d'hiver et d'été, il a trouvé une correction de 0″14 en moins à faire à l'obliquité calculée d'après nos tables, quantité insensible et plus petite que l'erreur possible dans les meilleures observations. Il résulte encore de cette comparaison que les tables de réfractions s'accordent à donner l'obliquité à fort peu près la même dans les saisons opposées, ainsi que nous l'avons toujours trouvé nous-mêmes, contre le sentiment de plusieurs astronomes distingués qui avaient cru remarquer jusqu'à 8 secondes de différence, et qui en conséquence ne voulaient donner leur confiance qu'aux observations d'été.

Les deux équinoxes calculés avec le même soin paraîtraient demander une correction de 2 secondes additive au lieu tabulaire, sur quoi il est juste de remarquer que cette correction dépend d'un peu moins d'une seconde sur les déclinaisons observées, et qu'ainsi une partie de l'erreur pourrait venir des observations. Ajoutons encore que les tables ayant été calculées sur un nombre d'observations bien plus considérable qui toutes ne s'accordent pas dans ces limites, il ne serait pas exact d'opposer ces deux équinoxes isolément à la masse d'observations qui nous ont servi; mais si une partie de cette correction était réellement fondée, nous en chercherions la cause dans le mouvement

moyen du soleil que nous aurions supposé trop faible peut-être d'une seconde en vingt ans, ce qui ferait à-peu-près une demi-seconde pour l'intervalle écoulé déja.

L'erreur qu'on pourrait avoir commise dans la hauteur du pôle disparaît dans la moyenne entre les deux équinoxes, mais comme l'observe justement M. Mathieu, elle se montre dans la différence entre les deux équinoxes différens quand on les compare l'une à l'autre. Nous avons averti que, si, pour déterminer la hauteur du pôle, nous eussions employé les nouvelles réfractions, nous l'eussions trouvée moindre d'une seconde environ. Mais toutes ces petites incertitudes se combinent si intimement, qu'il est extrêmement difficile de les évaluer et sur-tout de les séparer. M. Mathieu conclut encore que des différences si légères, loin de fournir aucune objection contre les tables, leur servent bien plutôt de confirmation ; et d'ailleurs, nous aurions encore à remarquer que, si, à chaque observation nouvelle qu'on obtient, on allait en adopter aveuglement le résultat de préférence à ce qu'ont donné des milliers d'observations réunies, on s'exposerait à s'écarter davantage de la vérité dont on cherche à se rapprocher.

Les observations dont M. Mathieu nous a donné le calcul, fournissent une remarque déja faite, mais qu'il est utile de soumettre à un nouvel examen toutes les fois que l'occasion se rencontre. Plusieurs de ces séries ont été observées par un temps vaporeux et à demi-couvert ; elles ne paraissent pas moins régulières, et s'accordent un peu mieux avec les tables ; la différence étant toujours dans le même sens, on pourrait penser qu'elle n'est pas due au hasard, mais elle est fort légère ; et en attendant des vérifications plus nom-

breuses, nous pensons, avec M. Mathieu, que le plus sûr est jusqu'à présent de supposer que les nuages ne causent aucune déviation sensible dans la marche du rayon lumineux.

Il trouve encore dans ses calculs une preuve de l'exactitude des ascensions droites du catalogue de M. Maskelyne, ce qui paraissait décidé déja, puisque les nouvelles observations confirment les tables solaires qui sont d'accord avec les ascensions droites. Il est certain que nos équinoxes ne nous donnant pas pour les longitudes moyennes une seconde de plus que les étoiles, nous avons pris une détermination moyenne; et si nous nous fussions arrêtés à nos équinoxes, ceux de M. Mathieu auraient indiqué une correction moindre de toute la quantité que nous aurions ajoutée à nos longitudes.

Enfin, M. Mathieu s'est servi des déclinaisons observées au cercle pour vérifier l'erreur de collimation du mural. Les petites différences qu'il a trouvées peuvent tenir à la légère incertitude qui reste encore sur les déclinaisons de quelques étoiles, et qui ne sera levée que quand MM. de Humboldt, Arago, et Mathieu, auront pu terminer la vérification qu'ils ont commencée de toutes les déclinaisons.

On voit combien ce Mémoire est intéressant; la Classe, à l'unanimité, l'a jugé digne de paraître dans le prochain volume des Mémoires présentés par les Savans étrangers.

M. le baron de Humboldt, associé étranger de la Classe, lui a présenté, dans le cours de cette année les dernières livraisons de la partie astronomique de son voyage, plusieurs parties de ses essais statistiques sur la Nouvelle-Espagne, des vues des Cordillières, et diverses cartes des contrées de l'Amérique, dont il a rectifié la géographie par ses propres observations, et par tous les secours que le zèle le plus

actif a pu lui procurer. En annonçant les nouvelles parties de ce voyage, nous ne pouvons en faire un plus bel éloge, qu'en disant qu'elles sont dignes des premières, et ajoutent encore au desir de connaître les suivantes.

Dans les derniers jours de décembre, M. de Prony, maintenant en mission dans les départemens de l'Empire français au-delà des Alpes, nous a chargés de présenter en son nom à la Classe *ses leçons de Mécanique analytique données à l'École impériale polytechnique, première partie qui traite de l'équilibre des corps solides.* Pressés, comme nous le sommes, par l'époque où cette Notice doit être rendue publique, il nous serait difficile de faire ici de cet ouvrage un extrait qui répondît à son importance, nous nous contenterons d'indiquer brièvement ce que nous y avons remarqué de plus important et de plus nouveau.

Le traité de statique contenu dans ce volume nous a paru plus étendu qu'aucun autre ouvrage analytique sur la même matière qui soit venu à notre connaissance ; et cependant il est aisé de voir qu'en général, à ne consulter que la plus grande facilité des commençans, l'analyse de l'auteur aurait plutôt besoin d'être développée que resserrée ; il est assez naturel qu'il en soit ainsi de tout ouvrage rédigé par un professeur habile, qui se réserve d'y ajouter, dans ses leçons orales, tous les développemens qu'il jugera convenir aux dispositions de ses élèves. On voit que le but de l'auteur a été de remplir la double condition d'offrir des études utiles, en laissant quelque chose à faire à ceux qui ont le pouvoir et la volonté de se livrer exclusivement aux sciences, et de ne rien omettre de ce qui est nécessaire aux jeunes gens qui se destinent aux services publics.

La manière dont il explique et interprète les équations de condition d'équilibre lui a permis de dégager entièrement son exposition de la statique des considérations de mouvement qu'on y introduisait ordinairement, ce qui simplifie cette étude et la rend plus véritablement analytique en écartant toute notion étrangère.

Parmi les objets nouveaux qu'il a su lier dans son ouvrage à des connaissances classiques et élémentaires, on remarquera la généralisation qu'il a faite de la théorie des momens et quelques théories importantes qui s'en déduisent, telles que celle des aires dont M. Laplace a tiré un parti si avantageux dans sa mécanique céleste, et celle des couples dont M. Poinsot a fait un usage ingénieux dans un mémoire lu à la Classe il y a plusieurs années, et publié dans le 13e cahier du Journal de l'école polytechnique.

Le principe des vitesses virtuelles, dont M. Lagrange a fait le fondement de sa mécanique analytique, a, depuis cette époque, acquis une telle importance, que tous les géomètres se sont exercés à l'envi à le démontrer rigoureusement. On ne sera pas surpris des développemens étendus que M. de Prony a donnés de ce principe. Après avoir démontré qu'il se vérifie par l'équilibre de trois systêmes dont les autres ne sont que des combinaisons, et que réciproquement il assure l'équilibre de ces systêmes, il arrive facilement à une démonstration générale pour les corps solides de forme variable ou invariable ; et il en promet une qui s'appliquera spécialement aux fluides.

Nous avons lu avec beaucoup d'intérêt, dans la section IV, la description d'une nouvelle machine à peser des corps dont la suspension serait embarrassante, et des masses triples

à-peu-près de celles que le peson à ressort est capable de supporter ; ce qu'a fait l'auteur pour éclaircir et compléter les idées d'Euler sur un cas singulier de la théorie de la pression ; et les théorèmes aussi simples qu'élégans qu'il a trouvés sur la poussée des terres, nouvellement vérifiés par une analyse ingénieuse, dont M. de Prony s'avoue redevable à un *géomètre du premier ordre* qu'il n'a pas nommé.

Le grand Traité de calcul différentiel et intégral de M. Lacroix, en trois volumes in-4°, publié dans les années 1797, 1798 et 1800, avait obtenu des commissaires chargés d'en rendre compte à la Classe, un témoignage pleinement confirmé depuis par le succès dont l'ouvrage a joui. Depuis long-temps l'édition en était épuisée. L'auteur en avait donné un extrait pour l'enseignement dans les écoles publiques, dont les deux éditions se sont suivies de près ; ce qui n'empêchait pas qu'une nouvelle édition du grand Traité ne fût vivement desirée. Nous pouvons en annoncer aujourd'hui le premier volume. On s'attendait bien que M. Lacroix, en reproduisant son ouvrage, l'enrichirait de tous les accroissemens qu'a pris la science dans l'intervalle écoulé. L'auteur a rempli cet espoir. Le volume que nous annonçons est augmenté d'un quart : l'histoire des calculs différentiel et intégral, que contenait la préface, est conduite jusqu'à l'an 1810. Nous aurions voulu pouvoir indiquer ici les nouveaux articles dont s'est enrichie la seconde édition ; nous aurions voulu sur-tout désigner *les détails qui appartiennent* à M. Lacroix, *dans un travail pour lequel il a dû nécessairement mettre beaucoup d'auteurs à contribution.* Mais, en citant

avec soin toutes les sources où il a puisé, il a négligé de faire connaître ce qu'il y avait ajouté de lui-même. Il n'a eu pour but que de faire un livre utile aux jeunes géomètres, et il y a complétement réussi.

Nous avons, dans le même temps, vu paraître une seconde édition d'un ouvrage dont le succès a été tout aussi rapide; c'est le TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE D'ASTRONOMIE PHYSIQUE de M. Biot, avec des additions relatives à l'astronomie nautique, par M. de Rossel. Cette édition, où l'ouvrage a reçu une étendue presque triple de celle qu'avait la première, est enrichie des nouvelles recherches que l'auteur a trouvé l'occasion de faire sur plusieurs points importans de l'astronomie théorique et pratique, dans ses travaux pour la prolongation de la méridienne, et pendant son séjour à Dunkerque. Nous ne doutons pas que cette nouvelle édition ne soit aussi heureuse et plus utile encore que la première.

Le même auteur a donné pareillement une édition nouvelle de son ESSAI DE GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE APPLIQUÉE AUX COURBES ET AUX SURFACES DU SECOND DEGRÉ.

M. Périer a publié un ESSAI SUR LES MACHINES A VAPEURS, et M. Carnot, un TRAITÉ DE LA DÉFENSE DES PLACES, composé par ordre de Sa Majesté Impériale et Royale, pour l'instruction des élèves du corps du génie.

Enfin, M. Cassini vient tout récemment de faire paraître des MÉMOIRES POUR SERVIR A L'HISTOIRE DES SCIENCES ET A CELLE DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS, suivis de la VIE de J. D. CASSINI, écrite par lui-même, et des ÉLOGES de MM. de Maraldi, Saron, et le Gentil, astronomes de l'Académie des sciences.

PROGRAMME

SUR LA THÉORIE DES PLANÈTES.

Lu le 7 janvier 1811.

PRIX DE MATHÉMATIQUES.

La Classe des Sciences avait proposé pour sujet d'un prix double qu'elle devait distribuer dans sa séance du 7 janvier 1811., *la Théorie des Planètes dont l'excentricité et l'inclinaison sont trop considérables pour qu'on en puisse calculer les perturbations assez exactement par les méthodes connues.* La Classe ne demandait aucune explication numérique ; *elle n'exigeait que des formules analytiques, mais disposées de manière qu'un calculateur intelligent pût les appliquer sûrement et sans s'égarer, soit à la planète Pallas, soit à toute autre déja découverte ou qu'on pourrait découvrir par la suite.*

La Classe a reçu deux mémoires seulement.

L'auteur du premier n'a pas même entrepris de traiter le sujet proposé.

En le traitant d'une manière qui prouve de grandes connaissances dans l'analyse, l'auteur du second mémoire ne s'est pas assez conformé aux intentions exprimées dans le programme ; il a laissé trop de développemens analytiques à exécuter par les géomètres qui voudraient se mettre en état de bien comprendre et de juger la solution qu'il donne du

problême ; il a sur-tout trop négligé de se mettre à la portée du calculateur qui voudrait former des tables de Pallas ou de toute autre planète. Un supplément qu'il a depuis envoyé est loin encore d'aplanir toutes les difficultés.

La Classe, considérant que le temps a pu manquer à l'auteur pour entrer dans tous les détails nécessaires, et que la même cause a pu écarter du concours d'autres géomètres qui auraient eu la force et la volonté de traiter une question si difficile et si importante, a cru devoir proroger de cinq ans le terme fixé pour le concours, et elle annonce à tous les géomètres qu'elle va tenir en réserve jusqu'au premier janvier 1816, s'il est nécessaire, le prix qu'elle avait proposé pour la théorie générale des perturbations planétaires, et qu'elle adjugera ce prix à la première pièce qui, dans cet intervalle de cinq ans, au plus tard, lui sera envoyée et satisfera pleinement aux conditions ci-dessus énoncées.

Le prix sera double, c'est-à-dire une médaille de la valeur de 6000 francs.

PRIX FONDÉ PAR M. DE LALANDE.

La médaille fondée par M. de Lalande pour l'observation la plus intéressante ou le mémoire le plus utile à l'astronomie qui aura paru dans l'année, a été décernée à M. Poisson, instituteur de mécanique et d'analyse à l'École impériale polytechnique, et professeur de mécanique à la Faculté des sciences de Paris, auteur de trois beaux mémoires publiés dans le quinzième et dernier cahier de l'École polytechnique, et qui ont pour objet les inégalités séculaires des moyens mouvemens des planètes, la stabilité du système planétaire,

le mouvement de rotation de la terre, le déplacement des pôles à sa surface et les équations dont dépendent les mouvemens de son axe.

Ces ouvrages, qui assurent à leur auteur un rang si distingué parmi les analystes, lui ont également mérité la reconnaissance des astronomes auxquels il a démontré d'une manière plus complète qu'on n'avait fait avant lui, plusieurs points fondamentaux du système du monde, et qui sont la base de tous les calculs astronomiques.

NOTICE

SUR LA VIE ET LES OUVRAGES DE M. MONTGOLFIER,

PAR M. DELAMBRE.

Lue le 7 janvier 1811.

JOSEPH-MICHEL MONTGOLFIER, démonstrateur du Conservatoire des arts et métiers, membre du Bureau consultatif des arts et manufactures près le ministère de l'intérieur, membre résident de l'Institut, et chevalier de la Légion d'honneur, était né à Vidalon-lès-Annonay, département de l'Ardèche, de Pierre Montgolfier et Anne Duret, le 26 août 1700.

Son père, possesseur d'une manufacture de papiers, qu'il avait successivement étendue et perfectionnée, y vivait en patriarche, au milieu de ses neuf enfans, de plusieurs parens et de tous ses ouvriers, dans l'exercice des vertus domestiques, commerciales, religieuses, et hospitalières. Distingué par sa probité, son économie, et la fermeté de son caractère, il joignait à tant de qualités estimables une modération et une force de santé qui le mirent en état d'atteindre à l'extrême vieillesse, sans avoir jamais connu d'autre maladie que celle qui termina ses jours en 1793, à l'âge de 93 ans.

Tous ses enfans eurent le goût des sciences; deux seulement furent élevés à Paris; Joseph, dont nous allons parler, était resté avec trois autres frères au collége d'Annonay; mais on peut douter qu'aucune autre école lui eût été plus

avantageuse. Quoique du caractère le plus doux et le plus modeste, il était en même-temps trop indépendant, ou plutôt trop préoccupé, trop tourmenté de ses propres idées, pour suivre avec quelque fruit des leçons qui n'étaient pas assez conformes à ses goûts dominans.

On sait en effet combien l'étude des sciences mathématiques et physiques était négligée, il y a soixante ans, dans presque tous les colléges de la France. Joseph regretta plus d'une fois, de n'avoir pas été à portée d'acquérir de bonne heure les connaissances préliminaires qui auraient pu le guider plus sûrement dans ses recherches ; mais livré tout entier dès son enfance à ses idées de mécanique et de physique, jamais il n'aurait pu attendre que le cours ordinaire des études amenât enfin après un long temps les leçons qui auraient pu lui convenir ; et il eût été réduit à Paris, comme il le fut à Annonay, à se composer lui-même une science qui fût toute à lui, à se créer une espèce d'arithmétique et de géométrie au moyen de laquelle il exécutait de tête des calculs assez difficiles, et jugeait des effets qu'on devait attendre d'une machine avec un tact et une sagacité qui ont plus d'une fois étonné des hommes beaucoup plus savans.

Rentré à la maison paternelle, après un cours d'études assez peu fructueuses, il y trouva dans les travaux de la manufacture de papiers des objets plus analogues à ses dispositions, et qui, par leur nouveauté, fixèrent quelque temps son attention. Mais, incapable de suivre long-temps les routes battues, son inquiétude le portait à tenter des moyens nouveaux qui trouvaient peu d'encouragement dans un père et un chef dont l'esprit d'ordre et l'économie rigide ne voulait ni souffrir des essais dispendieux, ni s'écarter des méthodes

sanctionnées par de longs succès. Ainsi, Joseph contrarié dans ses goûts, et voulant jouir de plus de liberté dans ses projets, desira fonder ailleurs un établissement qu'il pût diriger à son gré.

Il en obtint la permission, et, de société avec son frère Augustin, il établit plusieurs manufactures, et particulièrement celle de Voiron, dans le département de l'Isère.

Il avait le génie inventif qui peut offrir de si utiles ressources dans les premiers jours d'un établissement; mais on n'est pas également certain qu'il y joignît cet esprit de suite et d'attention continuelle, sans laquelle on ne peut guères espérer de prospérité dans le commerce, sur-tout quand on joint comme il faisait, aux distractions continuelles occasionnées par tant de projets, une facilité de caractère, une simplicité, une bonhomie qui devait l'exposer plus que personne à se trouver enveloppé souvent dans des faillites qui lui enlevaient presque tous les fruits de son industrie.

Cette même facilité qui multipliait ses pertes, l'en consolait bientôt, et de nouvelles idées l'empêchaient de se livrer aux poursuites judiciaires qui en auraient pu rendre les conséquences moins fâcheuses. Une fois seulement il sortit de son caractère d'insouciance et de résignation; mais il éprouva bientôt la vérité de cet adage: *ne forçons point notre talent.* On ne dit pas par quelle démarche imprudente il avait pu donner prise sur lui, ou par quelle adresse un débiteur rusé avait pu surprendre la religion des juges; mais à la requête du banqueroutier de mauvaise foi, le créancier lézé s'était vu emprisonner à Lyon.

L'injustice était trop palpable pour jouir d'un long succès. M. Montgolfier, avec l'aide de sa famille, sortit bientôt

triomphant, et, pour réparation, il obtint une somme assez considérable dont il fit don à l'hôpital d'Annonay, ne se réservant que l'usufruit dont il disposait annuellement en faveur des enfans du débiteur dont il avait tant à se plaindre.

Marié, en 1770, avec une de ses parentes, il avait trouvé en elle cette économie, cette vigilance, qui formaient un heureux complément aux qualités plus relevées et plus rares dont il était heureusement doué; mais il retrouvait aussi un peu de cette opposition aux nouvelles expériences, qui lui avait autrefois fait quitter la maison paternelle. Plein d'une juste confiance en Mme Montgolfier, Joseph se reposait entièrement sur elle du soin de conduire sa maison d'Annonay, et il faisait de fréquentes excursions, soit à sa fabrique de Voiron, soit dans les autres villes du midi de la France où l'appelaient souvent les affaires de son commerce.

C'est dans ces voyages qu'il jouissait d'une liberté qui n'avait plus les mêmes dangers. Il pouvait donner carrière à son imagination, concevoir mille projets sans être exposé à la tentation de les exécuter avant de les avoir mûris suffisamment.

Pour être plus indépendant et moins distrait de ses idées, il voyageait ordinairement seul et à pied. Il en avait tellement contracté l'habitude, qu'un jour il oublia dans la première auberge un cheval dont on l'avait forcé de s'embarrasser, et ne s'en souvint qu'en ne retrouvant plus un livre qu'il était sûr d'avoir emporté.

Quoiqu'il ait montré peu de goût en général pour ce qu'on appelle étude, il aimait passionnément la lecture; sciences et littérature, il dévorait tout avec la même avidité, et n'oubliait rien de ce qu'il avait lu, bien que jamais il n'ait fait un seul extrait, ni pris la moindre note.

Il avait acquis des connaissances dans tous les arts ; tous avaient fait l'objet de ses méditations. Après avoir simplifié les procédés de fabrication pour le papier ordinaire, il avait tourné ses réflexions sur les papiers peints de diverses couleurs et composés de différentes matières.

L'imprimerie avait exercé son génie inventif; il avait trouvé l'art de couler des planches stéréotypes long-temps avant que cette invention fût répandue ; il avait même construit une espèce de machine pneumatique, à l'aide de laquelle il raréfiait l'air dans ses moules.

Il avait formé le plan d'une pompe à feu d'une espèce particulière, s'il est vrai que l'eau en vapeurs n'entrât pas dans sa composition ; il s'en occupait encore en ces derniers temps ; il en parlait ; mais il est à craindre qu'il n'ait rien fait pour nous en transmettre l'idée exacte.

Tous les objets d'économie domestique auxquels il pouvait appliquer ses connaissances en physique ou en mécanique, avaient tour-à-tour été soumis à des recherches, que de nouveaux projets lui faisaient par-fois interrompre, et qu'il n'a pu conduire à leur perfection, ou trouver le temps de faire connaître. Assez confiant pour ne rien cacher, dans la conversation, de ce qu'il avait projeté ou inventé, il avait conservé, de sa première éducation, une espèce de paresse ou de répugnance à écrire pour exposer ses pensées avec l'ordre et la méthode qui auraient pu les faire goûter et les répandre.

Parmi tant d'objets divers qui s'emparaient successivement de son imagination ardente, deux sur-tout attirèrent habituellement son attention, et firent sa gloire : l'hydraulique, qu'il jugeait encore susceptible d'immenses progrès, et l'art de voyager dans les airs.

Secondé par son frère Étienne, à qui il avait su communiquer son enthousiasme pour ces deux genres de découvertes, il se livrait avec ardeur à la poursuite de ce qu'on appelait sa chimère. Ce qu'un parent élevé à Paris vint lui apprendre des rapides progrès de la chimie moderne, et qui aurait pu l'aider si puissamment dans ses recherches, n'eut pourtant aucune part à son succès.

Une expérience plus vulgaire, que tant d'autres avaient pu voir avant lui, mais avec des yeux moins attentifs, faisait depuis long-temps l'objet de ses réflexions les plus sérieuses, et le conduisit au but desiré.

Un linge chauffé sur un feu clair, se gonfle, et s'éleverait en l'air si l'on ne faisait effort pour le retenir.

Le fait est bien simple, l'explication et les conséquences se présentent d'elles-mêmes. L'air raréfié devient plus léger; il tend à s'élever; il entraînerait l'obstacle que ne retiendrait pas un poids trop considérable; il ne faut donc que renfermer cet air raréfié dans une enveloppe assez grande et assez légère par elle-même, pour qu'on puisse y attacher un poids étranger, sans trop en diminuer la légèreté spécifique.

Rien de plus aisé, sans doute aujourd'hui que la chose a réussi. Rien n'était plus aisé de même que la découverte de l'Amérique au temps où Colomb en forma le projet. Un vaisseau et des provisions, la constance à naviguer entre des parallèles où l'on n'eut rien à craindre, ni des trop grands froids, ni des chaleurs excessives, et l'on était certain ou de trouver un Nouveau-Monde, ou de revenir à la partie orientale de l'ancien continent, après une route dont on pouvait dès-lors évaluer à-peu-près la longueur d'après les idées qu'on avait déja sur la grandeur de la terre.

Mais quel courage ne fallait-il pas pour communiquer à des esprits plus timides, moins curieux et moins éclairés, la persuasion que Christophe Colomb avait puisée dans ses réflexions et ses études ?

Montgolfier, sans doute, n'avait pas au même degré, le besoin de faire passer dans l'esprit de ses coopérateurs le courage dont il était animé. Les dangers, quels qu'ils fussent, pouvaient n'être que pour lui. Mais Colomb trouvait des vaisseaux tout prêts, ici l'art était à créer ; on ne pouvait le fonder que par de longs essais ; et ces essais n'étaient pas de nature à être aisément cachés à un public malin, qui n'eût pas épargné le ridicule à un inventeur malheureux.

Après une première expérience faite par Joseph dans la ville d'Avignon, sur un parallélipipède de taffetas, les deux frères parviennent à enlever un ballon de grandeur médiocre ; il n'en fallait pas davantage pour leur prouver qu'ils ne s'étaient pas abandonnés à de vaines illusions. Ils communiquent leur découverte à un de leurs amis, M. Bollioud, possesseur d'une maison dont la terrasse domine le bassin d'Annonay, et paraît faite pour de semblables expériences. Encouragés par ses applaudissemens, ils construisent un nouveau ballon qui s'élève plus haut que le premier. Ils peuvent maintenant compter sur les applaudissemens de ce public dont ils avaient pu redouter l'injuste censure.

Les États particuliers du Vivarais s'assemblent à Annonay ; les deux frères saisissent une occasion si favorable pour donner la plus grande publicité à une expérience désormais certaine ; elle réussit au gré de leurs desirs, et les États constatent par leur procès-verbal une découverte dont la gloire

doit rejaillir sur la ville et la province qui, les premières, en ont eu le spectacle ; c'était le 5 juin 1783.

Tous les journaux répètent à l'envi la nouvelle étonnante d'un globe de cent dix pieds de circonférence, pesant environ cinq cents livres, qu'on a pu gonfler, et pour ainsi dire former en peu d'instans en l'emplissant d'un air de moitié plus léger que l'air atmosphérique. On lit qu'à un signal donné, ce globe s'est élevé rapidement à la hauteur de 2000 mètres, et qu'il est allé descendre à une demi-lieue de distance avec une légèreté telle, qu'il n'a pas même endommagé les ceps de vigne sur lesquels il est venu se poser.

Cette expérience merveilleuse est trop bien constatée pour trouver des incrédules ; elle n'excite que l'enthousiasme ; on voudrait la répéter, on ignore le secret de l'inventeur, mais la science s'empare de son idée ; on cherche dans la physique et la chimie les agens les plus propres à remplacer celui dont on ne connaît encore que les effets. Un physicien célèbre dirige l'entreprise enfin après quelques semaines de tentatives plus ou moins heureuses, et d'un travail opiniâtre ; Paris voit le 27 août un ballon de 12 pieds de diamètre, et d'une forme élégante, s'élever dans les airs, se perdre bientôt dans les nuages, et s'y dérober aux lunettes des observateurs qui, de diverses stations, cherchaient à mesurer la marche de cette planète d'une espèce si nouvelle.

Tous les amateurs de physique répètent l'expérience par des moyens divers qui ne font qu'entretenir la curiosité sans la satisfaire pleinement. Le nom de Montgolfier est dans toutes les bouches ; mais tandis que tout s'entretient de ses succès, l'inventeur ne songe qu'à se dérober aux applaudissemens, et il laisse à son frère Étienne le soin de venir à

Paris exposer une découverte à laquelle il s'est associé par ses longs travaux et son intelligence.

Étienne vient donc en rendre compte à l'Académie des Sciences, qui lui donne des commissaires pour assister à l'expérience dont elle veut faire les frais ; le Gouvernement se charge de toute la dépense.

Étienne fait construire un ballon de 70 pieds de hauteur sur 46 de diamètre.

Les vents de l'équinoxe contrarient plus d'une fois des essais qui ne peuvent se faire qu'en plein air. Mais l'impatience ne permet pas d'attendre des circonstances moins défavorables : quelques livres de paille sèche et de laine hachée produisent en peu de minutes une vapeur qui gonfle la machine ; elle s'élève entraînant un poids additionnel de 500 livres, les efforts qu'on fait pour la retenir, un vent impétueux, une pluie de 24 heures la fatiguent au point qu'elle a besoin des réparations les plus essentielles.

Étienne ne perd point courage ; en quatre jours il construit une autre machine de 57 pieds de hauteur sur 41 de diamètre. Placée dans la cour du château de Versailles, elle s'y élève de la manière la plus imposante, et va descendre dans le bois voisin à 3600 mètres du point d'où elle s'est enlevée.

Ces expériences répétées prouvent que la machine jouit d'une force ascensionnelle, capable d'entraîner des poids considérables ; il restait à lui donner les moyens de se soutenir en l'air plus long-temps, ces moyens étaient déja trouvés, mais ils n'étaient pas sans quelque danger ; il fallait aussi des hommes hardis qui apprîssent à manœuvrer un corps dont le volume et la légèreté même donnaient tant de prise à l'élément qui devait le transporter.

Pour cette tentative audacieuse, Etienne construit en peu de jours un aérostat plus considérable encore que les précédens, puisqu'il avait 70 pieds de hauteur sur 46 de diamètre. Il portait une galerie au centre de laquelle était placé le fourneau qui devait recevoir la paille et la laine destinée à fournir à chaque instant de nouveau gaz à la machine.

Après quelques essais qui venaient encore d'ajouter à leur confiance, deux physiciens intrépides sollicitent comme une faveur la permission de voguer librement dans les airs ; et Paris étonné les voit bientôt s'élever majestueusement du château de la Muette, traverser la rivière et toute la ville pour aller descendre sans accident à huit mille mètres du point de départ.

Vers le même temps, Joseph Montgolfier, cédant aux vœux des habitans de Lyon, leur offrit le spectacle dont eux seuls ont joui jusqu'à ce jour, d'un aérostat de 126 pieds de hauteur sur 102 pieds de diamètre, et qui portait sept voyageurs, au nombre dequels était l'inventeur lui-même.

Peu auparavant, Paris avait été témoin d'une expérience moins imposante à certains égards, mais plus curieuse encore peut-être, et sur-tout plus rassurante, à laquelle avaient concouru la science et les arts perfectionnés. Mais nous ne devons aujourd'hui parler que de ce qui concerne directement les frères Montgolfier ; l'expérience de Paris ouvrira l'histoire des suites données à leur importante découverte, et elle en fera le chapitre le plus intéressant.

Il était prouvé que l'art de s'élever dans les airs était trouvé, que ce rêve de l'imagination, long-temps taxé de folie, était enfin réalisé.

Etienne avait lu à l'Académie des Sciences un Mémoire

dans lequel il exposait les idées et les moyens qui avaient résolu le problème. L'Académie, sur le rapport de ses commissaires, avait jugé que *la découverte était complette quant à ses effets en général.* Par acclamation, elle avait, le 20 août 1783, placé les deux frères sur la liste de ses correspondans; et leur avait accordé, *comme à des savans auxquels on doit un art nouveau, qui fera époque dans l'histoire des sciences humaines* (1), le prix (de 600 livres) fondé par un anonyme pour l'encouragement des sciences et des arts. Etienne, qui avait eu l'avantage de paraître à la cour, avait reçu le cordon de Saint-Michel et des lettres de noblesse pour son père. Joseph eut une pension, et 40,000 livres pour la construction d'un aérostat qui devait lui servir à chercher des moyens de direction. Et la même année, les Etats du Languedoc avaient voté une somme pour élever à Annonay un monument en mémoire de la découverte.

Jamais idée nouvelle n'avait fait une sensation si prompte et si générale; jamais invention n'avait été accueillie avec un pareil enthousiasme. A peine entendit-on quelques réclamations dictées par la jalousie, compagne inséparable de tout succès éclatant.

Si quelques esprits ardens exagéraient l'utilité de l'invention, un petit nombre d'esprits jaloux tentèrent de la rabaisser fort au-dessous de sa veritable valeur; d'autres en voulurent contester la nouveauté. On appela l'érudition à son secours, on fouilla les bibliothèques, on prouva très-bien que de tout temps ce problème avait tenté la curiosité humaine. On tira

---

(1) Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences 1783, page 23.

de la poussière le livre où Lana décrivait un ballon soutenu par quatre globes de cuivre où l'on aurait opéré un vide parfait. On cita l'amusement physique où Galien construisait en *idée* un vaisseau creux en toile cirée ou goudronnée, rempli dans l'intérieur d'un air de moitié plus léger que l'air commun.

Ce roman d'un ancien professeur de physique n'était rien qu'une espèce de programme de la question à résoudre. Qu'offrait-il en effet que des idées familières à tous les physiciens? la nécessité de se procurer pour se soutenir en l'air, un fluide léger, renfermé dans une étoffe imperméable, ce qui d'ailleurs eût rendu le vaisseau de Galien semblable presque en tout aux ballons de taffetas gommé plus qu'aux montgolfières.

Montgolfier, au contraire, nous enseigne à former promptement et sans frais l'air que suppose Galien, à le renouveler sans cesse dans une enveloppe qui, le recevant par une large ouverture, n'a pas besoin d'être rigoureusement imperméable dans la partie supérieure. Enfin, ce que Galien donnait comme un simple projet, Montgolfier le réalise sous nos yeux par un moyen d'une simplicité remarquable.

Galien, comme Lana, indique en plaisantant les ressources qu'offrait la physique de son temps pour s'élever dans les airs; mais le vide de Lana était impraticable, et la pression de l'air extérieur eût bientôt écrasé ses globes fragiles; Galien, qui reconnaît la nécessité d'un fluide plus léger, ne peut indiquer des gaz qui n'étaient pas connus de son temps. Aujourd'hui ces gaz appartiennent à tous ceux qui sauront les employer à la navigation aérienne, puisque les physiciens qui les ont trouvés n'ont pas eu l'idée de les appliquer à cet

usage. Montgolfier, qui les connaissait, a su nous montrer qu'il n'en avait aucun besoin.

L'Académie a déclaré (volume de 1783, p. 20) qu'à la première nouvelle de l'expérience d'Annonay, tous les physiciens avaient songé au gaz inflammable, mais il faut dire aussi qu'il restait à surmonter deux grandes difficultés. La première a été complettement résolue par les expériences à jamais mémorables du Champ-de-Mars et des Tuileries; elle consistait à emprisonner ce gaz d'une manière sûre: l'autre était de le produire à volonté d'une manière prompte et peu dispendieuse; elle paraît à-peu-près insurmontable.

Le moyen imaginé par Montgolfier a ses inconvéniens sans doute, mais peut-on nier qu'il ne lui appartienne en propre, qu'il ne soit prompt et peu coûteux, que le voyageur ramené à terre quand ses provisions sont épuisées, ne puisse les renouveler par-tout, et se remettre en route presque au même instant, avantage que nul autre procédé n'est venu partager encore, et qui peut-être lui mériterait la préférence, si l'on pouvait entreprendre des voyages aériens, tant qu'on sera dépourvu des moyens de direction.

Cette partie du problême, à laquelle personne ne songeait, ou dont on se dissimulait toute la difficulté, serait-elle à jamais insoluble? Nous pouvons le craindre, mais gardons-nous de l'affirmer. Après ce dont nos yeux ont été temoins, pourquoi désespérer d'une découverte qui completterait celle de Montgolfier?

En attendant cette nouvelle invention, qui peut-être nous sera toujours refusée, les aérostats sont-ils en effet aussi inutiles que quelques esprits chagrins voudraient le faire croire? L'utilité directe et prochaine serait-elle, d'ailleurs,

la seule mesure de l'estime que nous devons aux productions de l'art? Une grande difficulté vaincue n'a-t-elle pas aussi quelque droit à nos éloges? Une création du génie qui se bornerait à nous donner un spectacle imposant et qui ajouterait à l'éclat de nos fêtes, pourrait-elle être l'objet de nos dédains?

Nous ne serons certainement accusés d'aucune partialité, d'aucune exagération, en assurant:

Que de toutes les expériences de physique, la plus étonnante, la plus anciennement essayée, et cependant la plus inespérée, est celle de Montgolfier; qu'elle a augmenté la puissance de l'homme, et lui a livré l'atmosphère. Si l'on ne peut encore faire dans les airs des voyages bien réglés, on peut au moins y multiplier à volonté toutes les excursions qu'on jugera convenir aux progrès de la science.

Voyez par quels dangers et quelles fatigues Saussure est parvenu à porter quelques instrumens légers sur la cime du Mont-Blanc, qui n'est pas à 5000 mètres de hauteur! Cette entreprise périlleuse, dans laquelle il avait échoué plusieurs fois, combien nous aurions sujet de regretter qu'il l'ait enfin achevée, si, comme tout nous porte à le croire, les suites en ont été d'altérer la santé et d'abréger la vie d'un physicien si recommandable!

Nos académiciens au Pérou ont la curiosité de monter au Pitchincha pour en examiner le volcan. La Condamine, malgré le courage opiniâtre dont il a donné tant de preuves, est obligé, après mille peines, de s'arrêter à 1200 mètres du sommet; l'intrépide Humboldt s'y élève plus haut d'environ 900 mètres: un obstacle insurmontable le force à revenir sur ses pas; tandis qu'en peu d'instans, et pour des expé-

riences qui avaient piqué leur curiosité savante, Biot et Gay-Lussac, en répétant la belle expérience du 1er décembre 1783, s'élèvent, sans peine et sans danger, plus haut que Saussure; et que Gay-Lussac, dans une autre ascension où il était seul, monte avec rapidité plus haut que La Condamine et Humboldt, plus haut que la plus haute montagne du globe, et rapporte au bout de quelques minutes, l'air qu'il a été puiser à sept mille mètres de hauteur, pour le comparer à l'air que nous respirons à la surface de la terre.

Montgolfier a donc rendu aux sciences un service inappréciable; sans lui, sans l'impulsion donnée aux physiciens par sa brillante expérience, tout nous porte à croire que, justement effrayés des dangers, des difficultés, et des frais d'une entreprise incertaine, ils se seraient bornés long-temps à faire voltiger dans leurs cabinets les bulles de savon de Cavallo, qui n'ont précédé que de deux ans l'expérience d'Annonay, ou peut-être les petits globes de baudruche de Deschamps, qui l'ont suivie de quelques mois. Par sa constance et son courage, par les ressources qu'il a trouvées en lui-même, Montgolfier a renversé la barrière qu'on croyait insurmontable; nous lui sommes et nous lui serons redevables des efforts heureux qu'on a déja faits, et de ceux qu'on pourra faire. Un problême difficile appartient à celui qui le résout le premier, quand même on en trouverait ensuite une solution plus commode.

Pour satisfaire à l'engagement qu'il avait contracté, et suivre une recherche à laquelle il était si personnellement intéressé, Joseph avait construit toutes les pièces qui devaient composer un vaste aérostat tout en étoffes de soie. Il n'eut le loisir, ni d'en assembler les diverses parties, ni de le

mettre en expérience; mais il ne cessait d'ailleurs de faire en petit toutes sortes d'essais avec le zèle le plus infatigable. On nous assure même *qu'il était parvenu à former un ballon d'une forme particulière, qu'il pouvait diriger par un temps calme, en montant et descendant alternativement par une suite de diagonales.*

Nous ne pouvons en dire davantage sur une invention dont nous avons peine à nous faire une idée assez précise, et qui n'a pas reçu la sanction d'une expérience authentique. Après un succès éclatant, Joseph se devait de ne pas hasarder sa gloire par des tentatives prématurées et moins heureuses. Le bélier hydraulique dont il commença dès-lors à s'occuper, va nous fournir une nouvelle matière pour son éloge.

Cette dernière invention est moins brillante et plus usuelle; les moyens en sont également simples, et la combinaison plus ingénieuse. Comme la première, elle suppose une idée-mère suivie constamment, et envisagée sous toutes ses faces; mais elle exigeait plus de ressources et de flexibilité dans le génie de l'inventeur.

En composant son bélier hydraulique, avec l'aide de son frère Etienne, il était parvenu, pendant les temps orageux de la révolution, à créer une machine déja fort utile, et sur-tout très-curieuse par le principe qui la faisait agir, mais à laquelle il restait quelques imperfections qu'il a su corriger depuis d'une manière fort simple et non moins heureuse.

Nous ne pourrions, sans entrer dans des détails dont ce n'est pas ici la place, faire comprendre le mécanisme ingénieux du bélier hydraulique. Ce qui le distingue, c'est de pouvoir être utilement employé, quand les autres machines

n'offrent aucune ressource. Pour le reste , nous sommes forcés de renvoyer au rapport de M. Charles, adopté unanimement par la Classe des sciences, en confirmation de la proposition faite par le jury des prix décennaux, qui place le bélier hydraulique au premier rang des inventions utiles dont la mécanique s'est enrichie depuis douze ans.

Joseph était doué d'une force de corps supérieure à celle des hommes ordinaires. Il y joignait un sang froid qui lui laissait toujours le libre exercice de tous ses moyens. Il en fit souvent usage dans les incendies, dans les inondations et autres accidens qui ne manquèrent jamais d'attirer ses secours, et dans lesquels il rendit de grands services. Cette courageuse philanthropie, il la déploya sur-tout pendant les orages de la révolution. Un proscrit, à quelque parti qu'il appartînt, quelque danger qu'il y eût à le secourir, trouvait toujours chez lui un asyle qu'il sut plus d'une fois faire respecter par sa fermeté.

La confiance qu'il avait inspirée à cet égard était si répandue, qu'on lui adressa souvent des personnes dont le nom même lui était inconnu. Il les accueillait tous, et n'en quitta jamais un sans l'avoir mis en sûreté, et bien souvent il leur servait de guide et d'escorte lui-même.

Etranger à toutes les factions, soumis aux lois politiques tant qu'elles n'étaient pas en opposition avec les lois de l'humanité, il attendait avec confiance le retour de l'ordre.

Cette révolution, pendant laquelle il avait montré un si beau caractère, avait été funeste à son commerce; il quitta les affaires pour se rendre à Paris, où il fut accueilli par un Gouvernement réparateur; appelé au bureau consultatif des arts et manufactures, nommé démonstrateur du Conservatoire

des arts et des machines, il se trouvait au milieu de tous les objets qui pouvaient l'intéresser le plus. Nommé à l'Institut, décoré de l'Aigle de la Légion d'honneur, entouré de la considération des artistes qu'il accueillait avec sa franchise et sa bonhomie habituelles, occupé sans cesse à perfectionner ses inventions, que manquait-il à son bonheur, et que pouvait-il souhaiter, si ce n'est d'en jouir plus long-temps.

Il avait toujours été d'une santé forte et inaltérable jusqu'en 1809, qu'il fut frappé d'une apoplexie sanguine et d'une hémiplégie. Les secours les plus empressés de l'art ne purent lui rendre le libre usage de la parole, et c'était pour le bon Joseph une privation très-sensible. Il essaya sans effet les eaux de Bourbonne; il voulut éprouver les eaux de Balaruc; il s'y rendait plein d'espoir, parce qu'à Lyon et Annonay, au milieu de ses parens et de ses amis, il avait retrouvé un peu plus de facilité à s'exprimer. Mais dès le troisième jour après son arrivée, une nouvelle attaque l'enleva à sa famille et aux sciences.

Joseph Montgolfier n'a laissé que deux enfans, une fille mariée au docteur Uribert, médecin de l'hôpital militaire de Grenoble, et un fils, héritier de sa modestie et de son goût pour la mécanique.

Reçu à l'Institut le 16 février 1807, à la place de M. Coulomb, il y a été remplacé par M. Malus, le 13 août 1810.

HISTOIRE
DE LA CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES DE L'INSTITUT IMPÉRIAL DE FRANCE.

ANALYSE

Des Travaux de la Classe des Sciences Mathématiques et Physiques de l'Institut, pendant l'année 1810.

PARTIE PHYSIQUE,

PAR M. CUVIER, Secrétaire perpétuel.

PEU d'années ont été aussi fécondes que la dernière en travaux variés et importans sur les diverses branches des sciences naturelles, et depuis les parties les plus générales de la physique jusqu'à l'histoire particulière des espèces des trois règnes, les découvertes de nos confrères, ou celles qui ont été soumises à la Classe par des savans étrangers à l'Institut, ont fourni de nouvelles richesses au système de nos connaissances.

PHYSIQUE ET CHIMIE.

La Classe avait proposé un prix pour l'examen des circonstances et des causes des diverses phosphorescences, c'est-à-dire, de ces apparences lumineuses que certains corps manifestent, soit spontanément, soit lorsqu'ils sont frottés, légèrement chauffés, ou enfin dans toute autre circonstance différente de la combustion.

Ce prix a été remporté par M. Dessaignes, principal du collége de Vendôme; et son travail couronné à la séance publique de l'année dernière, a été suivi par des expériences du même genre, qui en ont beaucoup étendu les résultats.

Ce physicien définit la phosphorescence, « une apparition « de lumière durable ou fugitive, qui n'est pas pourvue sen- « siblement de chaleur, et qui n'est suivie d'aucune altération « dans les corps inorganiques, » et il classe tous les phénomènes de la phosphorescence sous quatre genres, déterminés par leurs causes occasionnelles : 1° phosphorescence par élévation de température ; 2° phosphorescence par insolation; 3° phosphorescence par collision; 4° phosphorescence spontanée.

Tous les corps phosphorescens par élévation de température, jetés en poudre sur un support chaud, s'illuminent, quelle que soit la faculté conductrice de ce support pour le calorique, et l'intensité de la lumière qui s'échappe est en raison directe du degré de température; mais la durée de la phosphorescence est toujours en raison inverse de cette température. Les dernières portions de lumière semblent être retenues par les corps avec plus de force que les premières,

et il y a une très-grande différence sous ce rapport entre les diverses substances; les corps vitreux perdent très-difficilement leur propriété phosphorique, tandis que les métaux; leurs oxides phosphorescens, et les sels métalliques, la perdent très-facilement. Aucun degré de chaleur ne peut enlever la phosphorescence à la chaux, à la baryte, à la strontiane, caustiques, faiblement éteintes, à la magnésie, à l'alumine, et à la silice. Dans certaines circonstances, dans un air humide, par exemple, quelques-uns de ces corps peuvent reprendre leur phosphorescence après l'avoir perdue; mais d'autres ne la reprennent jamais.

Cette phosphorescence se présente sous des formes différentes; et, comme la lumière solaire, elle se décompose par le prisme : elle s'échappe de certains corps par émanation paisible, et de quelques autres par scintillation; sa couleur est bleue; mais elle est ordinairement souillée par ceux qui contiennent du fer, et l'on peut l'épurer, dans ce dernier cas, en enlevant à ces corps le métal qui change sa couleur.

En général, il a paru à M. Dessaignes que les corps les plus phosphorescens sont ceux qui, dans leur composition, contiennent des principes qui ont dû passer de l'état gazeux ou liquide à l'état solide.

Il était important de vérifier si cette phosphorescence par élévation de température était due à la combustion : pour cet effet M. Dessaignes a fait ses expériences dans l'air atmosphérique, dans l'oxigène et dans le vide barométrique, et il n'a vu aucune différence dans l'intensité de la lumière pour les corps inorganiques; mais la lumière des corps organisés s'est accrue dans l'oxigène; ce qui conduit l'auteur à penser qu'au moins une partie de la phosphorescence de ces derniers corps est due à une véritable combustion.

Mais l'élévation de la température ne rend pas tous les corps lumineux, et ceux qui deviennent phosphorescens par cette cause, perdent cette faculté dans certaines circonstances. Quelle est donc la cause de l'inphosphorescence? Telle est la question que se propose M. Dessaignes, et pour la solution de laquelle il a renouvelé ses expériences en y faisant entrer des circonstances qu'il variait selon les vues qu'il voulait remplir. Ses recherches l'on conduit aux résultats suivans: 1° Les produits obtenus par la voie du feu ne sont point lumineux, à moins que de l'état terreux ils n'aient passé à l'état vitreux; 2° les corps pourvus d'une trop grande quantité d'eau de cristallisation ne donnent aucune lumière; 3° les corps capables d'être ramollis par la chaleur ne donnent également point de lumière, et dans ce cas sont les sels avec excès d'acide, excepté les sels boraciques qui ne se fondaient point au degré de chaleur des expériences; 4° les corps, et particulièrement les sels qui se volatilisent ou se décomposent à ce degré de chaleur sont inphosphorescens; 5° enfin, les corps mélangés d'une grande quantité d'oxide métallique sont aussi complètement ténébreux.

Cependant la plupart de ces corps peuvent redevenir lumineux, lorsqu'on les humecte quand ils ont la faculté de se combiner avec l'eau, et de la solidifier à un certain point. Enfin, cette faculté peut reparaître dans les corps qui l'ont perdue si on les fait changer d'état.

M. Dessaignes conclut de ses expériences, dont nous n'avons pu qu'indiquer les résultats, que la phosphorescence, produite par l'élévation de température, est due à un fluide particulier qui est chassé par le calorique des corps, entre les molécules desquels il se trouve, et ce fluide lui paraît

être de nature électrique; il est conduit à cette idée, parce que toutes les circonstances qui favorisent ou qui détruisent l'accumulation du fluide électrique favorisent ou détruisent absolument de la même manière relativement aux mêmes corps l'accumulation du fluide phosphorique, et que l'électricité peut être directement accumulée dans ces corps, et les rendre lumineux.

On savait depuis long-temps que l'exposition de certains corps à la lumière les rendait phosphorescens. Dufay et Beccaria avaient déja fait quelques recherches sur les phénomènes de ce genre, et il était résulté de celles du dernier l'opinion que la phosphorescence des corps exposés à la lumière venait d'un dégagement de cette lumière qui s'y était introduite par une sorte d'imbibition. L'expérience sur laquelle cette opinion était fondée a été reconnue de tout point inexacte par M. Dessaignes : les phosphores qu'il a soumis aux différens rayons du prisme ont toujours donné la même lumière. Il y a plus, c'est que la phosphorescence produite par insolation, bien loin d'être une émanation rayonnante, n'est réellement qu'une oscillation; car quelque fréquentes que soient les insolations, la phosphorescence n'est point augmentée, et il suffit de couvrir de fumée un corps phosphorescent pour le rendre obscur. L'action de la lumière, comme celle de la chaleur, ne rend pas tous les corps phosphorescens, et ceux qui le deviennent ne le sont pas tous au même degré. Le phosphore de Canton devient phosphorescent par la seule lumière de la lune, tandis que le quartz hyalin ne donne de lueur que par la lumière directe du soleil. En général les corps liquides sont insensibles par ce mode d'excitation, et il en est de même du

charbon, du carbure de fer et des métaux, de la plupart des sulfures, des oxides métalliques faits par la voie sèche, et en général de tous les corps qui sont comme les précédens, des conducteurs de l'électricité; mais les corps idio-électriques peuvent devenir phosphorescens à l'aide d'une vive lumière. Il est à remarquer que, sous le rapport de la phosphorescence, tous les corps se sont exactement conduits avec l'électricité comme avec la lumière.

La lueur produite par insolation a la même couleur que celle que la chaleur fait naître, et elle peut être modifiée de même par les oxides métalliques.

Les corps les plus lumineux par insolation, ne le sont plus par cette cause quand ils sont chauds; mais ils redeviennent phosphorescents à mesure qu'ils se refroidissent; et quelques corps qui ont perdu la faculté de luire par l'élévation de la température, peuvent encore donner de la lumière au moyen de l'insolation, ce que M. Dessaignes attribue à la quantité d'eau que ces corps retiennent; car l'eau joue incontestablement un très-grand rôle dans tous les phénomènes de ce genre, comme le remarque fort bien M. Dessaignes en plusieurs endroits.

L'on attribuait presque généralement à une combustion toute la lumière que répandent certains de ces corps connus sous le nom de *phosphores*. M. Dessaignes, voulant approfondir cette opinion, a soumis ces corps à des expériences particulières qui prouvent évidemment, selon lui, qu'ils doivent leur lumière à la même cause qui produit celle des autres, c'est-à-dire, à une espèce de fluide électrique; car M. Dessaignes regarde la lumière produite par irradiation et par électrisation comme étant la même que celle que donne

l'élévation de la température: seulement dans les deux premiers cas, cette lumière n'éprouve que des vibrations, tandis que dans la dernière elle est véritablement expulsée.

La phosphorescence par collision a fait pour M. Dessaignes le sujet de plusieurs Mémoires. Il résulte de l'ensemble de ces expériences, cette loi générale et bien remarquable, que tous les corps, dans quelque état qu'ils soient, solides, liquides ou gazeux, dégagent de la lumière par la compression. Mais cette lumière est moins abondante lorsque les corps ont déja été rendus phosphorescens par la chaleur; et quelque nombreuses et fortes que soient les compressions auxquelles on soumet un corps, jamais on ne peut le priver entièrement par là de sa faculté phosphorique. Cette lumière semble à M. Dessaignes avoir une cause différente de celle qui est produite par la chaleur. « Elle paraît dépendre, dit-il, « d'un fluide éminemment élastique, étroitement uni à tous « les élémens de la matière gravitante. Ce fluide, source « première de toute force expansive, se refoule d'autant plus « dans les molécules que leurs élémens constitutifs s'ap- « prochent de plus près, de sorte qu'il est plus éloigné de « sa limite de compression dans les gaz que dans les corps « vitreux; aussi faut-il un moindre effort dans ceux-ci pour « les faire osciller, etc., etc. »

Relativement à la phosphorescence spontanée, M. Dessaignes en distingue de deux sortes; les unes sont passagères, les autres permanentes. Parmi les premières, on peut citer celle qui a lieu par l'union d'une certaine portion d'eau avec la chaux caustique; et, parmi les secondes, celle du bois pourri et d'autres substances organiques en putréfaction. Ce sont ces dernières qui occuppent plus particulièrement

M. Dessaignes dans ce quatrième genre de phénomène. Ses observations ont été faites sur des substances animales, de la chair des poissons d'eau douce, des poissons de mer, et sur des substances végétales, des bois de différentes sortes. Ces substances ont offert séparément des caractères particuliers; mais il résulte de l'ensemble de leurs phénomènes que la phosphorescence des unes et des autres est une espèce de combustion dans laquelle il se produit de l'eau et de l'acide carbonique; toutes les parties constituantes des muscles et du bois ne participent pas à la lumière que ces corps produisent: la partie ligneuse et la fibre musculaire n'éprouvent dans ces changemens aucune altération essentielle, et la phosphorescence de ces corps est due, dans le bois, à un principe glutineux, qui servait à réunir les fibres ligneuses, et dans la chair, à un principe gélatineux, qui unissait les fibres charnues.

M. Dessaignes, s'appuyant sur les faits nombreux de phosphorescence spontanée qu'il a recueillis, cherche à expliquer la phosphorescence de la mer, qu'il croit être due à deux causes différentes: 1° à la présence d'animalcules phosphoriques par l'émanation d'une matière lumineuse produite par ces animalcules mêmes; 2° par la simple présence de cette matière dissoute ou mélangée dans l'eau, et résultante non-seulement de ces êtres, mais encore des mollusques, des poissons, etc., etc.

Depuis la publication de son premier travail, M. Dessaignes a fait d'autres recherches du même genre; il a tenté, par de nombreuses expériences, de déterminer l'influence des pointes sur la phosphorescence, soit par élévation de température, soit par insolation; et non-seulement il a reconnu que les

pointes ont sur le fluide phosphorique la même influence que sur le fluide électrique; mais de plus, que des corps naturels, qui ne diffèrent entre eux que par leurs caractères résultant de l'aggrégation, peuvent différer à l'infini sous le rapport de leurs facultés phosphorescentes, etc., etc.

Les productions subites de chaleur qui se manifestent dans une infinité de phénomènes chimiques, quoique plus connues que ne l'étaient celles de lumière, ont encore besoin d'être déterminées avec quelque précision.

M. Sage a donné le résultat de ses recherches sur les degrés de chaleur que produisent les acides minéraux concentrés, en se combinant avec divers oxides métalliques, des terres, de l'eau, etc. : de l'acide sulfurique à 67° de l'aréomètre de Beaumé, mêlé à un tiers d'eau, donnait une température de 80°; de l'acide nitrique, marquant 45° à l'aréomètre, a donné, mêlé à $\frac{1}{3}$ d'eau, 45°; et l'acide muriatique à 20° a donné, avec la même quantité d'eau que dans les expériences précédentes, 22°; le plus grand degré de chaleur obtenu avec l'acide sulfurique est celui qui est résulté du mélange de cet acide avec les os incinérés : cette chaleur a été de 160° au-dessus de zéro. En général ces expériences servent à faire présumer que la chaleur produite dans les combinaisons des corps est d'autant plus forte que ces corps éprouvent plus de contraction. Il est fâcheux que M. Sage n'ait point cherché à déterminer la pesanteur spécifique des corps qu'il combinait avant et après l'expérience.

La mesure absolue de la chaleur, dans les degrés élevés, pour lesquels on ne peut employer de substances liquides, est toujours l'objet des recherches des savans.

M. de Morveau qui s'en occupe depuis tant d'années, et

dont nous avons fait connaître les premiers travaux dans notre Rapport de 1808, a communiqué à la Classe une suite de tableaux qui peuvent être considérés comme le résumé de ses nombreuses expériences. Le premier de ces tableaux présente les degrés de chaleur de fusion et de vaporisation des différens corps corrigés et mis en concordance avec les échelles pyrométriques et thermométriques les plus généralement admises. Un second tableau donne les dilatations des métaux déterminées en concordance de ces mêmes échelles pyrométriques et thermométriques, et exprimées en millionièmes pour 100° centigrades. Dans un troisième tableau il indique les rapports de la dilatabilité et de la fusibilité des métaux ; et enfin, dans un quatrième, il donne les degrés de chaleur indiqués par son pyromètre de platine, et leur correspondance avec le thermomètre centigrade, le pyromètre de Wedgwood, et les observations de fusion jusque dans les plus hautes températures. Ces tableaux ont été accompagnés d'un mémoire explicatif contenant les détails des procédés employés par l'auteur pour rectifier ses évaluations, lesquelles diffèrent essentiellement de celles qui avaient été données par Wedgwood ; et cette différence vient principalement d'une erreur que ce célèbre physicien avait commise en mesurant la fusibilité de l'argent, qui faisait une des bases de ses calculs.

Sa Majesté Impériale qui, au milieu de ses hautes occupations, ne veut ignorer aucun des progrès importans des sciences, et qui ne leur refuse rien de ce qui peut leur faire espérer des succès nouveaux, a ordonné qu'il fût construit à l'École Polytechnique des piles galvaniques de diverses

grandeurs, et une entre autres qui surpassât de beaucoup toutes celles que l'on avait employées jusqu'ici, afin que l'on pût apprécier l'influence que le volume de ces appareils exerce sur leurs effets.

MM. Gay-Lussac et Thénard nous ont donné une description de cette grande pile composée de six cents paires de disques carrés, de 3 décimètres de côté chacun, et des expériences qu'ils ont faites avec elle, et avec une autre dont les plaques étaient de 48 centimètres carrés de surface.

Leurs premières recherches se sont portées sur les causes qui font varier l'énergie de la pile. On attribuait cette énergie, ou à la conductibilité des matières constituantes de la pile, ou à l'action chimique de ces matières, ou à ces deux causes réunies; pour éclaircir cette question, les auteurs ont cherché une espèce de galvanomètre, et ils se sont arrêtés pour cela à la décomposition de l'eau dans un tube pendant un temps donné. Ils ont vu que, toutes choses égales d'ailleurs, la pile décomposait d'autant plus d'eau dans un même espace de temps, que toutes les substances qui entrent dans le cercle de la pile sont plus conductives. Une pile de quatre-vingts paires, montée avec un acide, décompose la potasse, ce que ne peut faire la pile de six cents paires montée avec de l'eau. D'un autre côté, le tube du galvanomètre, rempli d'eau seulement, donne quatre à cinq fois moins de gaz que lorsqu'il est rempli d'acides affaiblis. En général les acides sont d'autant plus forts conducteurs qu'ils sont moins étendus, mais un mélange d'acide et de sel produit encore plus d'effet que l'acide seul.

Les acides sont meilleurs conducteurs que les alcalis, et les alcalis sont meilleurs conducteurs que les sels qui pro-

viennent de ces mêmes acides et de ces mêmes alcalis employés comparativement.

L'eau du galvanomètre chargée de sel est d'autant moins bonne conductrice qu'elle s'éloigne davantage de la saturation.

Il fallait savoir quelle était l'influence de la longueur des fils plongés dans le galvanomètre (1); 8 centimètres ont décomposé moins d'eau que 4; mais 2 centimètres en ont décomposé moins que 8.

Les effets de la pile n'augmentent pas dans le même rapport que le nombre des plaques; l'effet n'est double que lorsque le nombre est huit fois plus grand. En général les effets de la pile, mesurés par la quantité de gaz qu'elle produit, s'éloignent peu d'être proportionnels à la racine cubique du nombre des plaques.

Les effets de deux piles, différentes par l'étendue des surfaces de leurs plaques, sont proportionnels à ces surfaces.

La tension électrique de la pile dure plus que son action chimique. Cette différence vient de l'influence inévitable de la durée du contact du condensateur avec lequel on recueille l'électricité, pour la mesurer à la balance de Coulomb.

Après avoir étudié les piles en elles-mêmes, pour en apprécier les effets, MM. Gay-Lussac et Thénard ont porté leurs recherches sur l'action de la grande pile sur divers corps. La commotion qu'on reçoit de cette grande batterie est excessivement forte et dangereuse; mais elle n'est point sensible au milieu d'une chaîne composée de quatre ou cinq personnes, elle ne l'est qu'aux extrémités de cette chaîne;

---

(1) Je me sers de ce mot par commodité, les auteurs ne s'en servent pas.

ce qui prouve, contre l'opinion reçue, que, dans cette expérience faite avec des bouteilles de Leyde, ou de toute autre manière, la chaîne ne fait pas l'effet de conducteur, et que chaque personne n'est chargée que par influence, c'est-à-dire, que le fluide électrique qui lui est naturel, n'est que décomposé, et que la commotion ne vient que du rétablissement des deux fluides qui le composent.

Parmi les découvertes auxquelles cet admirable instrument de la pile a donné lieu, il en est peu d'aussi intéressante pour la chimie générale, que la transformation des alcalis en substances combustibles et d'un éclat métallique.

On a vu dans nos précédens rapports annuels que ces substances étaient regardées, par M. Davy qui les a découvertes, comme des corps simples métalliques, et qu'au contraire MM. Gay-Lussac et Thénard, se fondant sur des expériences particulières, dont nous avons fait mention, ne les considéraient que comme des combinaisons des alcalis avec l'hydrogène, ou ce qu'on appelle des hydrures. Depuis lors, MM. Gay-Lussac et Thénard ont fait des recherches pour déterminer la quantité d'oxigène que ces substances absorbent dans diverses circonstances; et ils ont observé, 1° qu'en brûlant le potassium dans du gaz oxigène, à l'aide de la chaleur, ce métal en absorbe près de trois fois autant qu'il ne lui en faut pour passer à l'état de potasse; 2° que le sodium, traité de la même manière, absorbe seulement une fois et demie autant d'oxigène que pour passer à l'état de soude; 3° que dans ces expériences on peut substituer l'air atmosphérique à l'oxigène, sans changer le résultat; 4° qu'on fait varier ces résultats en faisant varier la température, du moins pour le

sodium qui, à froid, n'absorbe que peu l'oxigène, tandis que le potassium, au contraire, s'oxide presque au même degré, quelle que soit la température; 5° enfin, que dans ces combinaisons il ne se dégage rien.

Le potassium et le sodium chargés d'oxigène ont des propriétés particulières, et entre autres celle d'absorber l'eau avec avidité; mais par cette absorption ils sont décomposés, et il en résulte de la potasse ou de la soude et beaucoup d'oxigène. Au reste, ces corps oxigénés sont ramenés à l'état alcalin par tous les corps combustibles et par les acides, et plusieurs de ces phénomènes ont lieu avec dégagement de lumière; de sorte que tout concourt à prouver que la combinaison du potassium et du sodium, avec la quantité d'oxigène supérieure à celle dont ces corps ont besoin pour passer à l'état d'alcalis, n'est point très-intime, et que cette quantité y est presque à l'état gazeux.

En supposant que le potassium et le sodium fussent des hydrures, il résulterait de ces expériences que les sels formés avec ces corps, après qu'ils ont été combinés avec l'oxigène, contiendraient toute l'eau qui aurait dû se former par la combinaison de cet oxigène avec l'hydrogène qui avait fait passer les alcalis à l'état de potassium ou de sodium: or, ce résultat n'est point conforme à d'autres expériences dans lesquelles MM. Gay-Lussac et Thénard ont cherché à déterminer la quantité d'eau contenue dans les alcalis et celle qui est dégagée dans leur combinaison avec les acides. Ils ont trouvé que la potasse, sur 100 parties, contient 24 parties d'eau, et la soude, 20 sur la même quantité; et ils ont vu que l'acide carbonique sec dégage une très-grande quantité d'eau en se combinant avec les alcalis. « On peut même, disent-ils,

« par ce moyen ou par le gaz acide sulfureux, rendre l'eau « sensible dans 2 milligrammes de soude ou de potasse. » Ce qui a conduit MM. Gay-Lussac et Thénard « à pencher en « faveur de l'hypothèse qui consiste à regarder le potassium « et le sodium comme des corps simples. »

Depuis que l'on sait à quel point les proportions des principes constituans peuvent varier dans les composés, l'on est obligé d'examiner les sels sous ce nouveau point de vue.

M. Bérard, chimiste à Montpellier, a fait part à la Classe de ses recherches sur la combinaison de l'acide oxalique avec diverses bases, sujet qui avait déja été traité en partie par MM. Wollaston et Thomson.

M. Bérard a commencé par déterminer exactement les proportions de l'oxalate de chaux qu'il a trouvé être de 62 d'acide et de 38 de chaux. Il a reconnu ensuite que 100 parties de cet acide cristallisé contenait 27.3 d'eau.

Ayant ces premiers élémens, il a combiné cet acide avec la potasse, et il a formé trois sels différens, un oxalate, composé de 100 parties de potasse et de 97.6 d'acide, un suroxalate contenant, sur 100 de potasse, 192 d'acide, et un quadroxalate composé de 381 d'acide sur 100 d'alcali, lesquelles parties sont entre elles comme 1, 2 et 4. Ce résultat curieux avait déja été trouvé par M. Wollaston.

La soude, l'ammoniaque, la baryte, ont donné des oxalates, et des suroxalates, mais la strontiane, la magnésie n'ont pu former que des oxalates, et il est à observer que le suroxalate de baryte a peu de fixité, et qu'il suffit de le faire bouillir dans l'eau pour faire passer ce sel à l'état d'oxalate. Ce ne sont que les oxalates solubles qui peuvent se combiner avec

un excès d'acide, et devenir des suroxalates, et c'est à l'extrême solubilité du suroxalate de potasse que l'on doit de pouvoir former avec ce sel un quadroxalate.

M. Berthollet nous a communiqué un procédé pour former le muriate de mercure, appelé mercure doux. Il fait voir qu'en faisant passer le gaz muriatique oxigéné sur le mercure, il se combine promptement avec le métal, et forme avec lui du muriate mercuriel; et comme ce sel métallique a une parfaite analogie avec les sels mercuriels produits par les autres acides et le mercure au *minimum* d'oxidation, il en conclut que le mercure, en formant cette combinaison, a été réduit en oxide par l'oxigène de l'acide, et non point par celui de l'eau qu'on pourrait y supposer. Il a tiré cette conséquence de l'action de la chaux sur le gaz muriatique oxigéné: cette terre donne avec le gaz muriatique un composé dont la chaleur dégage une grande quantité d'oxigène, en laissant du muriate de chaux. En effet dans ce cas on ne peut attribuer l'oxigène qui se dégage qu'à la décomposition de l'acide, et non à celle de l'eau.

Jusqu'à présent on n'avait pas porté dans l'analyse des substances organisées la précision et l'exactitude que l'on est parvenu à mettre dans l'analyse des corps inorganiques. L'action du feu, à un certain degré sur ces substances, produit des combinaisons dont il n'est point facile de déterminer les élémens par les moyens ordinaires et par les procédés le plus généralement mis en usage; une partie des produits gazeux n'était point recueillie et se perdait.

M. Berthollet a cherché à porter dans la détermination des principes qui entrent dans la composition des substances

végétales, toute la précision que les procédés de la chimie permettent. Pour cet effet il a soumis chaque substance, autant privée d'eau que possible, à l'action de la chaleur, en faisant passer les produits qui s'en dégagent à travers un tube de porcelaine maintenu rouge, de sorte que tous les produits soient réduits en gaz; puis, après avoir mesuré et pesé ces gaz et les matières charbonneuses restées abandonnées par les substances volatiles, il a fait l'analyse des unes et des autres. D'après ces procédés, on peut déduire les quantités de carbone, d'oxigène, d'hydrogène et d'azote qui entrent dans la composition des végétaux, ainsi que celle des substances solides qui demeurent confondues avec le charbon. Il ne reste qu'une incertitude, c'est celle de la proportion d'oxigène et d'hydrogène qui se trouvent encore dans les plantes après leur dessication combinées à l'état d'eau. Dans son premier mémoire, M. Berthollet n'a encore donné que l'analyse du sucre et de l'acide oxalique; il se propose de poursuivre ses expériences.

MM. Gay-Lussac et Thénard ont aussi porté leurs recherches sur l'analyse des substances organisées ; mais en admettant le principe de M. Berthollet, qui, comme nous venons de le voir, conduit à réduire en gaz toutes les substances qui peuvent passer à cet état, ils ont suivi un autre procédé qui consiste à mélanger les substances qu'on veut analyser avec une quantité connue de muriate suroxigéné de potasse, et à faire brûler ce mélange dans un appareil propre à recueillir les gaz qui se dégagent. Cet appareil est formé d'un tube de verre fermé par un bout, et portant à l'autre un robinet qui empêche toute communication entre l'intérieur du tube et l'air extérieur ; la douille de

ce robinet est pourvue d'un petit creux propre à contenir les matières qu'on veut analyser. A ce premier tube en est soudé un second, d'une dimension plus petite, destiné à recueillir les gaz qui doivent se dégager par la combustion des substances.

L'appareil ainsi disposé, et le mélange de la substance à analyser étant fait avec le muriate suroxigéné de potasse, on chauffe, et lorsque l'instrument commence à prendre une température rouge, il y a une vive inflammation, et en même-temps il se produit de l'eau, de l'acide carbonique, du gaz oxigène, et du gaz azote, si la substance analysée contient de ce dernier. En faisant usage de ce moyen, MM. Gay-Lussac et Thénard ont trouvé que le sucre, l'amidon, la gomme arabique, le sucre de lait, contenaient du carbone, de l'oxigène et de l'hydrogène, et que ces deux derniers principes étaient justement dans des proportions convenables pour former de l'eau; que les substances inflammables, telles que la résine de pin, la résine copale, la cire, l'huile d'olive, contiennent plus d'hydrogène qu'il n'en faut pour saturer leur oxigène, et enfin que les acides végétaux contiennent plus d'oxigène qu'il n'en faut pour saturer leur hydrogène.

D'après ces résultats, MM. Gay-Lussac et Thénard proposent de diviser en trois classes toutes les substances végétales, 1° Celles dans lesquelles l'oxigène et l'hydrogène sont dans des proportions convenables pour former de l'eau; 2° celles qui contiennent de l'hydrogène en excès, comparativement aux précédens; 3° celles qui contiennent en excès de l'oxigène.

Les essais qu'ils ont faits avec leur appareil sur les substances animales, les ont conduits aux résultats suivans : la

fibrine, l'albumine, la gélatine, et la matière caséeuse, contiennent du carbone, et de l'oxigène, de l'hydrogène et de l'azote, dans les proportions exactement nécessaires pour former de l'eau et de l'ammoniaque. Ces substances pourraient donc être comparées au sucre, à l'amidon et à la gomme, tandis que les graisses chargées d'un excès d'hydrogène seraient analogues aux résines, et les acides animaux analogues aux acides végétaux.

M. Vauquelin a fait des travaux plus particuliers d'analyse végétale, pour déterminer les différences qui se trouvent entre les principes constituans du sucre de canne, de la gomme, et du sucre de lait, et ses expériences qu'il poursuit l'ont déja conduit à ce résultat intéressant que la gomme et le sucre de lait diffèrent du sucre de canne, en ce que la première contient de l'azote, et le second une matière animale.

« Au reste, dit M. Vauquelin, les différences entre le sucre
« ordinaire, le sucre de lait, et la gomme, ne consistent pas
« seulement dans la présence ou dans l'absence de l'azote,
« elles tiennent encore aux rapports variés des autres élémens
« de ces matières; et c'est ce qui nous reste à déterminer
« par des expériences maintenant commencées. »

M. Guyton a présenté à la Classe quelques observations relatives à l'art de la verrerie. La première a pour objet la séparation des verres de densité différente par liquation; du verre dont le fondant était du plomb, se trouvant au fond d'un creuset, ne se mêla point à du verre ordinaire dont le creuset avait été rempli malgré la fusion complète des matières. La seconde est relative à des essais de creuset-moule pour le recuit des grandes masses de verre. On essaya, sans

succès, de former ces creusets avec de la pierre calcaire; la matière ne présenta qu'une masse criblée de grosses bulles: formés avec de l'argile à pots, ces creusets donnèrent un verre parfaitement affiné; mais comme leur retrait n'était point semblable à celui du verre, et que celui-ci adhérait à leurs parois, le refroidissement occasionna dans la masse vitreuse des fissures qui se dirigeaient du centre à la circonférence. La troisième observation consiste dans la coloration du verre en rouge par le cuivre. On ignorait le moyen de donner aux matières vitreuses une couleur rouge fixe avec le cuivre. Un hasard a fait voir à M. Guyton que cette coloration pouvait avoir lieu et être de la plus grande fixité, et des expériences qu'il a tentées l'ont convaincu de la réalité de sa conjecture.

A cette occasion M. Sage a fait part de ses expériences pour colorer en rouge, au moyen du cuivre, le verre de phosphate de chaux ou des os, et a montré des cristaux de verre provenant du fond des creusets de la manufacture de bouteilles de Sèvres, qui avaient quelque ressemblance avec des prismes exaèdres.

La quatrième observation de M. Guyton a pour objet l'altération que le verre éprouve par l'action d'une grande chaleur long-temps continuée. Dans cette altération le verre se dévitrifie, prend une couleur blanche, laiteuse, et la demi-transparence des agates. C'est proprement la matière connue sous le nom de porcelaine de Réaumur; mais ce savant attribuait l'opacité et la blancheur du verre aux matières dont il l'entourait. On a reconnu depuis que la présence de ces matières n'est point nécessaire, et que la chaleur seule

est suffisante ; mais quelques physiciens attribuaient ces effets à une espèce de précipitation d'une portion des matières constituantes du verre. M. Guyton, par des raisons qu'il serait trop long de rapporter ici, et qui paraissent fondées, attribue cette dévitrification à la vaporisation de quelques-unes de ces portions de matières.

On croyait pouvoir conclure de quelques observations particulières que les feux des volcans n'agissaient pas comme ceux de nos fourneaux. Mais M. Guyton a fait voir, par des expériences directes, que cette opinion n'était point fondée, et il a eu l'avantage de convaincre le célèbre minéralogiste Dolomieu qui en avait été l'auteur.

On sait que l'on est parvenu par des moyens simples à extraire du muriate de soude, la soude dont les arts ont besoin, et qui se tirait autrefois de l'étranger. Cette fabrication présentait cependant un inconvénient; c'était la quantité de gaz acides qui se volatilisaient, et qui communiquaient à l'air des propriétés très-malfaisantes. Les manufacturiers ont donc été obligés de chercher les moyens d'empêcher que ces gaz ne se répandissent dans l'atmosphère; et entre plusieurs moyens offerts pour arriver à ce but, on doit distinguer celui qui a été imaginé par M. Pelletan fils. Il consiste à faire circuler le gaz acide muriatique dans de longs tuyaux horizontaux garnis de pierres calcaires qui l'absorbent.

Dufay avait annoncé que le bismuth pouvait servir comme le plomb à la coupellation. M. Sage a montré par des expériences que ce premier métal ne peut point remplacer le plomb avec avantage, parce qu'il emporte, en passant à l'état de verre, une portion d'argent avec lui.

MINÉRALOGIE ET GÉOLOGIE.

MM. Brongniart et Cuvier, dans leur travail général sur les terrains qui environnent Paris, dont nous avons rendu compte il y a deux ans, avaient découvert autour de cette ville des couches très-étendues de pierres, qui ne recèlent que des coquilles d'eau douce, et qui paraissent avoir été déposées dans des lacs et des étangs, tandis que l'on croyait jusqu'à présent que tous les terrains secondaires avaient été formés dans le sein des mers; une partie de ces couches est même séparée de l'autre par des bancs marins intermédiaires, ce qui semblerait prouver que la mer a fait une irruption sur les continens qu'elle avait précédemment abandonnés, et confirmerait les traditions de déluge si universellement répandues parmi les peuples.

M. Brongniart étendant ses recherches a reconnu ce terrain formé dans l'eau douce en beaucoup de lieux de France très-éloignés de Paris; il a présenté les caractères minéralogiques qui le distinguent, et les caractères zoologiques des coquilles qu'il recèle; il a fait voir qu'un grand nombre de ces coquilles, quoique appartenant à des genres connus et certainement d'eau douce, sont cependant d'espèces inconnues; et comme il se trouvait dans le nombre quelques coquilles dont les analogues ont été rapportés jusqu'à présent à des genres marins, il a fait voir que c'était faute d'attention qu'on les avait laissées dans ces genres, et que les coquilles connues qui portent les mêmes caractères vivent au moins aux embouchures des fleuves. Enfin, comme dans un très-petit nombre de lieux, quelques coquilles véritablement marines sont mêlées à des coquilles d'eau douce, M. Bron-

gniart a montré que c'est toujours au plan de réunion des deux terrains que ce phénomène arrive, et il n'y a rien d'étonnant qu'immédiatement après les révolutions qui changèrent la nature des eaux, les derniers restes de la mer aient pu être mélangés avec les premiers produits de l'eau douce, ou réciproquement.

Ce mémoire établit d'une manière invincible un fait entièrement nouveau pour l'histoire du globe.

M. Cuvier l'a appuyé par un autre mémoire sur les os fossiles de reptiles et de poissons des carrières à plâtre des environs de Paris. Ses recherches, qui terminent le travail qu'il continue depuis dix ou douze ans sur les ossemens dont nos plâtrières sont remplies, lui ont appris que, parmi les nombreux quadrupèdes de genres inconnus qui ont fourni ces os, il y avait aussi une espèce de ces tortues molles, appelées depuis peu *trionyx*, par M. Geoffroy, et qui vivent toutes dans les rivières; deux autres espèces de tortues d'eau douce ordinaire; une sorte de petit crocodile, et quatre espèces de poissons, dont trois sont certainement de genres qui vivent dans l'eau douce, et dont le quatrième pourrait aussi très-bien y avoir vécu. On n'a jamais trouvé aucun débris de reptile ni de poisson distinctement marins.

Or, sur les bancs de gypse et de marne qui recèlent ces ossemens, et où l'on trouve aussi des coquilles d'eau douce et des troncs pétrifiés de palmiers, reposent des bancs considérables remplis d'une quantité innombrable de produits de la mer; et, sur ceux-ci, l'on trouve d'autres bancs d'eau douce, mais dont les os et les coquilles ne sont pas les mêmes que dans les bancs inférieurs. Il est impossible d'avoir des indices plus manifestes et plus clairs d'une révolution.

De toutes les pierres formées dans l'eau douce, la plus remarquable est celle que l'on appelle *marbre de Château-Landon,* et dont on construit l'arc de triomphe de l'Étoile. M. Brongniart y a reconnu les caractères minéralogiques de cette formation, et, en y regardant de près, il a fini par y en trouver les coquilles.

En Auvergne, M. Brongniart a observé le terrain d'eau douce recouvert par les produits des volcans éteints, si nombreux dans ce pays-là.

En Alsace et auprès d'Orléans, MM. Hammer et Bigot de Morogues ont trouvé dans ce terrain les ossemens des mêmes genres de quadrupèdes que M. Cuvier a déterminés aux environs de Paris.

MM. Sage et de Cubières ont rappelé l'attention de la Classe sur un fait particulier de géologie, dont beaucoup de savans se sont déja occupés, et qui a donné lieu à des conjectures sans nombre.

Il s'agit d'un petit temple auprès de Pouzzoles, dont il reste trois colonnes, percées toutes les trois à la même hauteur, et à trente pieds au-dessus du niveau actuel de la mer, par des dails ou pholades, sorte de coquillages qui savent pénétrer dans l'épaisseur des pierres plongées sous l'eau.

Ces colonnes ont-elles été tirées d'une carrière placée pendant quelque temps sous les eaux? Mais pourquoi aurait-on choisi des pierres cariées, et comment les trous seraient-ils tellement de niveau? Le temple a-t-il été successivement abaissé et relevé, dans ce terrain volcanique sujet à tant de mouvemens irréguliers, de manière à rester quelque temps baigné par la mer? Mais comment après de semblables secousses ces colonnes seraient-elles restées debout?

Enfin, les éruptions volcaniques n'ont-elles point produit quelque digue qui, retenant les eaux, aura enfermé pendant un temps ce temple dans un petit lac, et qui s'étant rompue, aura rendu le terrain à sa sécheresse naturelle?

Il y a des difficultés à toutes ces explications. La plus grande, relativement aux deux dernières, est de savoir comment de telles révolutions ont pu avoir lieu depuis la construction du temple sans laisser de traces dans la mémoire des hommes ; car l'on parle bien d'une éruption arrivée en 1528, où se forma la colline appelée encore aujourd'hui *Monte-Nuovo,* et où la mer envahit une partie du rivage, mais on ne fait pas mention de deux révolutions successives.

M. de Cubières a trouvé près de ce temple des fragmens d'une variété particulière de marbre, dont il a lu à la Classe la description et l'analyse; il est blanc, demi-transparent, reçoit un beau poli, se dissout difficilement par l'acide nitrique, laisse jaillir des étincelles par le choc, et contient 22 centièmes de magnésie.

M. de Cubières, qui le nomme *marbre grec magnésien,* pense que c'est celui dont les anciens se servaient pour construire les temples sans fenêtres, où l'on ne recevait le jour que par la transparence des murs.

M. Sage a donné des expériences propres à faire connaître la composition de la plombagine, ou de ce minéral, avec lequel on fabrique les crayons anglais. Selon ce chimiste, elle ne contiendrait point de fer, mais seulement une matière charbonneuse, mêlée d'un dixième d'alumine, et le cinder ou charbon fossile de Saint-Symphorien, près de Lyon, serait, de tous les minéraux connus, celui qui s'en approcherait le plus.

M. Daubuisson, ingénieur des mines, ayant présenté à la Classe un mémoire sur certaines combinaisons naturelles de l'oxide de fer avec l'eau, M. Sage a rappelé diverses analyses; où il avait prouvé que l'hématite brune et l'ocre ou bol jaune contiennent, l'une 12 centièmes, l'autre un dixième de leur poids d'eau.

Le même M. Daubuisson a fait connaître un gisement singulier d'une mine de plomb. C'est une couche très-étendue de galène ou plomb sulfuré, contenue dans un terrain coquillier de formation que cet ingénieur regarde comme récente, tandis que les matières métalliques sont plus ordinairement dans les terrains d'ancienne formation. M. Daubuisson a observé cette mine près de Tarnowitz, en Silésie. Pour connaître réellement l'âge des couches calcaires qui la renferment, il faudrait déterminer les espèces de coquilles qui les remplissent.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE ET BOTANIQUE.

M. du Petit-Thouars, qui s'occupe, avec une constance digne d'être citée en exemple, de l'anatomie et de la physiologie des végétaux, et qui a déja proposé à la Classe plusieurs aperçus nouveaux sur cette branche de science, l'a entretenue cette année de la moëlle et du liber, ou de cette pellicule située sous l'écorce, et que l'on a regardée long-temps comme la mère de l'aubier et du bois. Il pense entièrement le contraire sur ce dernier point, et s'accorde à cet égard avec M. Knight, botaniste anglais, qui vient aussi de publier de belles observations sur la physique des arbres. Quant à la moëlle, M. du Petit-Thouars assure que l'on s'est également

trompé quand on cru qu'elle pouvait être comprimée, et disparaître à la longue par l'accroissement du bois qui l'entoure; il a montré de très-vieux troncs de plusieurs sortes d'arbres où le canal médullaire est aussi gros que dans les branches de l'année.

M. de Mirbel, qui a publié depuis long-temps de belles recherches générales sur la structure intérieure des végétaux, et les fonctions de leurs diverses parties, s'occupe maintenant de comparer entre elles sous ce rapport les diverses familles. Il a traité cette année des plantes à fleurs en gueule, ou labiées; mais cherchant toujours à revenir à ces principes généraux, qui seuls peuvent élever nos observations à la dignité d'une véritable science, il a fait précéder son travail par des considérations sur la manière d'étudier l'histoire naturelle des végétaux, où il essaie de prouver que, pour établir une bonne classification des plantes, le botaniste doit appeler à son secours les faits que fournissent l'anatomie et la physiologie ; qu'aucun caractère n'a une importance telle qu'elle s'étende indistinctement sur toutes les familles; et que par conséquent une méthode conçue d'après la considération d'un seul principe est nécessairement en opposition avec les rapports naturels. Il n'excepte point dans ce jugement les caractères tirés du nombre des cotylédons, de la présence ou de l'absence du périsperme, et de l'insertion des étamines. L'analyse rigoureuse, dit-il, démontre que la valeur proportionnelle des traits caractéristiques varie dans chaque groupe, en sorte que le même caractère a plus ou moins d'importance, selon qu'il existe dans une espèce ou dans une autre; et cette importance n'est, en dernière analyse, que le résultat de l'enchaînement nécessaire des diverses

modifications organiques; il convient que, s'il est difficile en général d'apercevoir le nœud qui unit les traits caractéristiques dans les êtres organisés, les obstacles sont sur-tout multipliés quand il s'agit des végétaux, à cause de l'extrême simplicité de l'organisation; mais il croit néanmoins qu'on a trop négligé jusqu'à ce jour cette partie rationnelle de la science, sans laquelle l'histoire naturelle des plantes est réduite à n'être qu'un assemblage de faits sans relation.

Il distingue dans les caractères ceux de la *végétation* et ceux de la *reproduction*, et pense que les uns et les autres offrent des considérations également importantes pour le rapprochement des espèces en familles.

Il distingue dans les familles celles qui sont formées *en groupe*, et celles qui sont formées *par enchaînement*. Dans les premières, l'ensemble des traits est conforme pour toutes les espèces, et la définition caractéristique n'admet presque point d'exceptions : telles sont les labiées, les ombellifères, etc, Dans les secondes, les traits se modifient par nuances insensibles, de manière que les dernières espèces finissent par être assez différentes des premières pour qu'il soit impossible d'exprimer leurs rapports par une définition courte, simple et affirmative : telles sont les borraginées, les renonculacées, etc.

Le mémoire sur les labiées offre un essai de la méthode analytique que l'auteur propose pour l'étude des familles naturelles. Il examine les labiées dans toutes leurs parties. Non-seulement il fait entrer en considération les caractères extérieurs, mais encore l'organisation interne, et même les phénomènes qui en dérivent. Après avoir parlé de la germination, il passe à l'organisation de la tige; il décrit en

détail les glandes et les poils : il pense que l'on s'est trompé, en considérant comme des pores les aires ovales mêlées aux cellules plus ou moins exagones qui forment l'épiderme. Ces aires ne sont, à ses yeux, que de petites élévations, ou, si l'on veut, que des poils extrêmement courts. Il trouve dans la structure interne de la tige la cause de sa forme et de la disposition des feuilles par paires. Une bride vasculaire s'étend d'une feuille à l'autre, et les retient dans une situation opposée.

Nous ne suivrons pas l'auteur dans ses recherches sur le calice, la corolle et les étamines. Les observations que contient cette partie de son mémoire se composent d'une multitude de faits particuliers qui ne sont point susceptibles d'analyse.

Le pistil a présenté à M. de Mirbel une organisation très-remarquable, et qui cependant n'avait encore été observée que superficiellement. Un corps glanduleux, placé au fond du calice, porte quatre ovaires, du milieu desquels s'élève un style. La base de ce style ne communique pas directement avec les ovaires ; elle pénètre dans la partie qui les soutient, et donne naissance à quatre conducteurs, lesquels, réunis aux vaisseaux nourriciers qui se rendent du pédoncule dans le fruit, remontent vers les ovaires. Cette disposition du style et des conducteurs, par rapport aux ovaires, existe également dans les borraginées.

Le corps glandulenx est semblable, par son organisation interne, à la glande du cobea, dont M. de Mirbel a publié l'anatomie, il y a quelques années. Cet appareil organique est destiné à la sécrétion du suc mielleux qui se dépose au fond du calice.

La forme du style et du stigmate lui a fourni aussi matière à plusieurs observations absolument neuves.

La plupart des auteurs considèrent le fruit des labiées comme étant formé de quatre graines nues. Gærtner lui-même n'a pas évité cette erreur. M. de Mirbel montre que ce fruit est composé de quatre drupes, dans lesquelles on reconnaît facilement l'existence d'une enveloppe pulpeuse et d'un noyau plus ou moins solide. Il fait voir en outre que l'embryon ordinairement droit, mais quelquefois replié sur lui-même, est revêtu de deux tégumens, que l'extérieur est mince, et porte toujours à sa partie inférieure la trace du cordon ombilical; que l'intérieur, tantôt mince et flexible, tantôt charnu et cassant, est un véritable périsperme.

Ce résultat inattendu n'est que la conséquence d'un fait général qui avait échappé aux recherches des botanistes; savoir : que tout tissu cellulaire, homogène, distinct de sa membrane externe, et appliqué immédiatement sur l'embryon, quelle que soit son épaisseur et la nature de la substance inorganisée qui remplit ses cavités, est un périsperme; d'où il suit qu'il est très-peu de graines dans lesquelles on ne puisse trouver, même après la maturité, des vestiges de cet organe.

Pour rendre cette vérité plus sensible, M. de Mirbel donne l'histoire circonstanciée du développement de l'embryon et de la formation du périsperme, dans les labiées et dans d'autres plantes.

Enfin, il croit pouvoir conclure de l'ensemble de ses observations, que, dans la famille des labiées, les principaux caractères de la végétation, aussi bien que ceux de la reproduction, ont une liaison si étroite que l'on ne peut supposer

le changement d'un de ces caractères sans admettre en même temps le changement des autres, c'est-à-dire, que l'existence de chacun d'eux est visiblement liée à l'existence de tous; ce qui fait que chacun acquiert, pour la classification, une valeur égale à l'ensemble des traits caractéristiques dont il est, en quelque façon, le représentant.

Tous les botanistes savent que la division première des végétaux, fondée sur l'unité et la pluralité des cotylédons, est, généralement parlant, d'accord avec les rapports naturels; cependant cette règle n'est pas sans exceptions: d'une part, la cuscute, le cyclamen, quelques renonculacées n'ont qu'un cotylédon, quoiqu'on ne puisse, sans déroger aux lois de la nature, les séparer des plantes à deux feuilles séminales; d'autre part, le zamia et le cycas ont deux cotylédons, quoique leur place semble invariablement fixée entre les palmiers et les fougères qui, comme l'on sait, n'offrent qu'une feuille séminale. M. Richard, frappé de ces anomalies, a cru pouvoir substituer à la division des monocotylédons et des dicotylédons, celle des embryons endorhizes et exorhizes. Suivant lui, les endorhizes cachent le germe de leur racine dans une poche particulière qui s'ouvre ou se déchire durant la germination, et les exorhizes, au contraire, n'ayant point de poche, présentent au dehors leur racine naissante. Il pense que cette division est à-la-fois plus générale et plus naturelle que la première. Ce n'est point le sentiment de M. de Mirbel; ce botaniste a annoncé dans un mémoire lu à la Classe, qu'il a fait germer un grand nombre de plantes à une et à deux feuilles séminales ; il en a représenté la forme à différentes époques de leur développement, et il lui

a semblé qu'en adoptant le sentiment de M. Richard, on se verrait forcé de réunir souvent dans le même groupe les plantes les plus hétérogènes, telles par exemple, que le guy et le blé, ou le cycas et le cèdre. L'auteur de ce nouveau systême, dit-il, croit que toutes les vraies monocotylédones sont endorhizes; mais le fait est que les seules graminées, dans cette grande classe, offrent ce caractère, et qu'on le retrouve bien distinctement dans plusieurs dicotylédones. Il cite le guy et le loranthus; il montre ensuite qu'il existe une analogie frappante entre les graines du nélumbo, du nymphæa, du saururus et du piper, que l'embryon des deux derniers genres est renfermé dans une sorte de sac tout-à-fait semblable à celui du nymphæa, et il conclut que les quatre genres appartiennent à la classe des cotylédons. Enfin, il pose en principe que les caractères tirés de la structure des tiges, combinés avec ceux que donnent le nombre et la forme des cotylédons, sont encore les meilleurs pour établir une première division naturelle dans le règne végétal.

Quant aux subdivisions des rangs inférieurs, ou à ce qu'on appelle des familles, il y a à-la-fois moins de difficultés à découvrir des bases sur lesquelles on puisse les faire reposer, et plus de liberté sur l'étendue qu'on leur donne; et il arrive souvent que des botanistes jugent à propos de les multiplier.

Ainsi, M. de Candolle a donné un mémoire qui renferme la monographie de deux familles qu'il a établies, les *ochnacées* et les *simaroubées*. Les arbres dont ces familles sont composées sont tous originaires des régions situées sous la zône torride, et paraissent même y être assez rares, en sorte que leur histoire et leurs descriptions avaient été fort négli-

gées ; on les avait confondues ou avec les annonacées, ou avec les magnoliacées, ou avec les dilleniacées : M. de Candolle prouve qu'elles diffèrent de ces trois familles par un grand nombre de caractères, et sur-tout par la structure de leur fruit, qu'il décrit avec détail, parce qu'elle offre une conformation remarquable. Dans les *ochnacées* et les *simaroubées*, la base du pistil se renfle en une espèce de disque charnu, sur lequel les loges des semences sont articulées : ce disque, que l'auteur nomme *gynobase*, avait été pris pour une partie du réceptacle de la fleur; mais il appartient réellement au pistil, puisqu'il est traversé par les vaisseaux qui vont du stigmate aux ovaires. Il résulte donc de cette structure, mieux appréciée, que les *ochnacées* et les *simaroubées* n'ont pas un fruit agrégé, mais un fruit simple, et par conséquent se rapprochent davantage des *rutacées* que de toute autre famille de plantes. Les deux groupes qui font l'objet du travail de M. de Candolle se rapprochent beaucoup entre eux par la structure de leur fruit; mais on est obligé de les considérer comme deux familles distictes, quand on a égard à leurs autres différences. Ainsi, les *ochnacées* ont des fleurs toujours hermaphrodites, des pétales étalés en même nombre que les division du calice, ou en nombre double, des étamines insérées sous le germe des fruits, dont les loges, un peu semblables à des noix, ne s'ouvrent pas d'elles-mêmes, et renferment une graine droite sans périsperme, et deux cotylédons épais. Ce sont des arbres toujours lisses, à écorce peu ou point amère, à suc propre aqueux, à feuilles simples, à deux stipules axillaires, à fleurs en grappes dont les pédicules sont articulés au milieu de leur longueur : les *simaroubées*, au contraire, ont des fleurs souvent uni-

sexuelles par avortement, à quatre ou cinq pétales droits, à cinq ou dix étamines munies d'écailles à leur base, à loges du fruit en forme de capsules s'ouvrant d'elles-mêmes, et dont la graine attachée au sommet est pendante dans la loge : ce sont des arbres à écorce très-amère, à suc propre laiteux, à feuilles composées, dépourvues de stipules et à pédicules non articulés. Les ochnacées, qui renferment les genres *ochna, somphia,* et un nouveau genre nommé *elvasia,* se trouvent augmentés d'un grand nombre d'espèces nouvelles, mais n'ont encore aucune importance quant à leurs usages ; les simaroubées, qui renferment les genres *quassia, simarouba* et *simaba,* sont d'un grand intérêt, puisqu'elles offrent deux des remèdes les plus actifs de la médecine.

D'après la description donnée par MM. de Humboldt et Wildenow, de la plante qui fournit l'écorce connue en pharmacie sous le nom de *cortex angustura,* on devait présumer qu'elle appartenait à la famille des *simaroubées;* et M. de Candolle l'y avait en effet placée, mais en conservant quelque doute. M. Richard, qui a eu occasion d'analyser la fleur de cette plante très-rare, assure au contraire qu'elle appartient à la famille des méliacées, dont elle se rapproche par sa corolle monopétale seulement en apparence, par ses étamines unies à leur base, par l'absence des écailles de la base des étamines, et même par le fruit, observé il est vrai, dans sa jeunesse seulement : les poils rayonnans qui couvrent la surface de la feuille et de la fleur confirment l'opinion de M. Richard, laquelle ne peut être démontrée ou renversée que par l'inspection du fruit mûr de cet arbre qui est encore inconnu. Ce genre a été décrit par M. Wildenow, sous le

nom de *Bonplandia;* mais, comme il existait déja un genre dédié à M. Bonplan, nos botanistes pensent qu'il est plus convenable de désigner celui-ci, ou sous le nom d'*angustura,* qui est le nom officinal, mais qui est un nom de pays, ou plutôt sous celui de *cusparia,* qui est le nom américain latinisé, et que M. de Humbolt a déja employé dans son Tableau de la géographie des plantes.

M. de Cubières a présenté la description d'un arbre intéressant de l'Amérique septentrionale, le *magnolier auriculé,* dont les grandes fleurs peuvent, par leur odeur et par leur éclat, faire l'ornement de nos parcs.

ANATOMIE, PHYSIOLOGIE ANIMALE, ET ZOOLOGIE.

Le phénomème le plus important de la physiologie des animaux, celui d'où dépendent en quelque sorte toutes leurs fonctions, c'est la production plus ou moins forte de chaleur qui résulte de leur respiration. La chimie a prouvé dans ces derniers temps que cette chaleur tient à la combinaison de l'oxygène de l'atmosphère, avec une partie des élémens du sang, ce qui fait de la respiration une véritable combustion; mais un médecin anglais, le docteur Fordyce, avait découvert que l'homme et les autres animaux à sang chaud, enfermés dans un air plus chaud qu'eux, n'en prennent pas la température, et qu'ils font pendant longtemps baisser le thermomètre à leur température naturelle. Il semblait donc que, dans ce cas, la vie, au lieu de produire de la chaleur, produisait du froid, et l'on ne savait comment accorder ce phénomène avec la théorie générale de la chaleur animale.

Franklin soupçonna qu'il tenait à ce que la transpiration, augmentant avec la chaleur, en compense l'effet; car il est reconnu en physique que toute évaporation produit du réfroidissement.

M. de Laroche le fils, docteur en médecine, avait publié, il y a quelques années, des expériences faites en commun avec M. Berger, et où ces deux physiciens avaient déja observé une augmentation très-sensible de chaleur dans les animaux exposés à une haute température, quand on trouvait moyen d'arrêter leur transpiration. Il vient de les reprendre, avec une exactitude nouvelle, dans des atmosphères entretenues constamment à une humidité telle qu'il ne peut s'y faire de transpiration ni par la peau, ni par le poumon; et il a constaté que les animaux non-seulement s'y échauffent à un certain point, mais y prennent même toujours une température supérieure à celle du milieu, parce que la chaleur produite par leur respiration s'ajoute à celle qu'ils reçoivent de l'atmosphère qui les entoure. Il a donc à-la-fois réfuté une propriété chimérique attribuée à la force vitale, et prouvé que l'illusion venait uniquement de la cause soupçonnée par Franklin.

Nous avons rendu compte, il y a deux ans, d'expériences faites par M. Dupuytren, inspecteur-général de l'Université, lesquelles tendaient à prouver qu'il ne suffisait pas à l'exercice de la respiration que l'air pénétrât dans le poumon par le jeu mécanique de la poitrine, ni que le sang y circulât librement par l'impulsion du cœur, mais que le concours des nerfs propres de l'organe pulmonaire y était encore nécessaire. Ces expériences consistaient à couper les nerfs de la huitième paire, qui vont, comme l'on sait, au larynx,

aux poumons, au cœur et à l'estomac ; aussitôt la section faite, l'animal commençait à déperir, et le sang cessait de prendre le caractère artériel à son passage par le poumon, quoique les fonctions accessoires dont nous venons de parler ne fussent pas dérangées dans un degré proportionné à un pareil effet.

Quelques physiologistes ont repris le même sujet, et ont attaqué les résultats de M. Dupuytren. D'une part, M. Blainville a observé comme Haller et d'autres, à la suite de la section de la huitième paire, des dérangemens dans les fonctions de l'estomac, qui lui ont paru contribuer à la mort des animaux, au moins autant que ceux des fonctions pulmonaires. Il a même jugé, d'après ses expériences, qu'il n'y avait point d'interruption dans la conversion du sang veineux ou artériel. De l'autre côté, M. Dumas, correspondant de la Classe, et professeur à Montpellier, ayant fait pénétrer de l'air dans le poumon des animaux qui avaient subi cette opération, a vu leur respiration reprendre son action sur le sang ; d'où il a conclu que la section des nerfs altère d'abord les fonctions préliminaires ou occasionnelles de la respiration, et seulement d'une manière médiate la respiration même. Mais le fait même de l'altération de la respiration étant mis en question par M. Blainville, M. Provençal, nouvellement nommé correspondant, s'est occupé de le constater ; et ses expériences lui ont paru prouver qu'il y a réellement asphyxie, et que le sang reste noir. Cependant la discussion élevée entre M. Dupuytren et M. Dumas subsistait toujours ; et dans le cas où l'opinion de M. Dumas se trouverait juste, il restait encore à déterminer quelle est celle des fonctions préliminaires qui est altérée.

M. Legallois, docteur en médecine, qui a fait des expériences très-intéressantes sur les effets plus ou moins prompts de l'asphyxie dans des animaux de différens âges, et remarqué que les plus jeunes en périssent le plus tard, a observé que la section de la huitième paire n'amène pas la mort, suivant cette loi ; qu'au contraire, les très-jeunes animaux sont saisis d'une suffocation qui les tue en peu de temps. L'examen des cadavres lui a bientôt prouvé que, dans ce cas, la mort résulte d'un rétrécissement subit du larynx ; et que si, dans ces premiers momens, l'on perce la trachée, la respiration reprend son activité. Ce retrécissement ne produit cet effet que dans les jeunes animaux, parce que leur larynx est, comme on sait, proportionnellement plus étroit que dans les adultes.

M. Legallois ayant ensuite examiné les poumons de beaucoup d'animaux d'âge plus avancé, auxquels la huitième paire avait été coupée, il les a trouvés gorgés de sang, au point que, quelquefois, ils s'enfonçaient dans l'eau, et leurs vésicules remplies d'un épanchement séreux, qui finit par obstruer les bronches ; c'est, selon M. Legallois, cet épanchement qui arrête l'accès de l'air, et qui produit la mort.

Il serait donc vrai, d'après ce médecin, que les animaux meurent d'asphyxie, et que cette asphyxie provient du défaut d'air ; mais il resterait vrai en même temps que les altérations primitives, dont l'effet subséquent est d'empêcher l'arrivée de l'air, ont lieu dans le tissu intime de l'organe pulmonaire, et dans le jeu propre de ses vaisseaux.

M. Nysten, docteur en médecine, a présenté des expériences curiences, concernant les effets que produisent sur l'économie animale les différentes espèces d'air, quand on

les introduit dans les vaisseaux sanguins et dans les cavités séreuses du corps. Il a reconnu que les gaz, qui ne sont pas nuisibles par eux-mêmes, agissent mécaniquement, et que, lorsqu'ils sont injectés dans les veines en assez grande quantité pour gonffler le cœur au point d'interrompre la circulation, ils tuent l'animal seulement à cause de cette interruption. Si la quantité en est assez petite pour que la contraction du cœur puisse en vaincre la résistance, la mort n'arrive pas ; il y a seulement de la douleur et du malaise ; si le gaz est d'une nature soluble, son effet est encore moins marqué ; mais les gaz nuisibles, tels que le muriatique oxigéné, l'hydrogène sulfuré, etc,, agissent en irritant, en occasionnant des douleurs vives ; et, quand on les injecte dans la plèvre, ou dans le péritoine, ils y produisent des inflammations violentes.

Cependant les gaz qui ne produisent d'abord qu'un effet mécanique, peuvent, qnand ils sont une fois dissous dans le sang, avoir une influence plus ou moins dangereuse sur l'économie. L'oxigène pur donne une affection catharrhale, mais n'affaiblit point ; tous les autres affaiblissent plus ou moins, et diminuent l'appétit et le sommeil. L'air atmosphérique, l'hydrogène, l'hydrogène phosphoré augmentent la secrétion musqueuse du poumon, etc.

Ce qui est remarquable, c'est que les effets délétères des gaz injectés ne sont pas proportionnels à ceux des mêmes gaz inspirés ; cependant on soutient la vie des animaux à qui l'on fait respirer des gaz délétères, en leur injectant de l'oxigène.

L'anatomie des animaux des classes inférieures, communé-

ment appelés à *sang blanc*, et que M. De la Marck désigne sous la dénomination d'*animaux sans vertèbres*, a fait de grands progrès depuis une vingtaine d'années, et a servi de base aux classifications nouvelles que les naturalistes ont adoptées pour cette partie du règne animal. Il restait cependant encore des doutes à l'égard de quelques familles, dans le nombre desquelles était celle qui comprend les *araignées* et les *scorpions*. L'on n'avait pas d'idées justes de leurs organes de circulation et de respiration ; et, en conséquence, on hésitait sur la place qu'il fallait leur assigner.

M. Cuvier s'est occupé de cette recherche, et a fait, entre autres travaux nécessaires à son succès, une anatomie complète du scorpion. On observe dans cet animal un vaisseau musculeux, qui règne le long de son dos, et qui éprouve des mouvemens très-sensibles de systole et de diastole ; il tient lieu de cœur ; sous le ventre sont huit ouvertures, ou stygmates, qui donnent dans autant de bourses blanches placées à l'intérieur, et que l'on doit considérer comme autant de poumons. Chacune de ces bourses renferme un organe composé d'un grand nombre de petites lames très-déliées, entre lesquels il est probable que l'air se filtre. Deux vaisseaux partent du grand vaisseau dorsal pour se rendre à chaque bourse, et se ramifier sur sa membrane. L'auteur les regarde, l'un comme une artère, l'autre comme une veine, et suppose que ce sont les vaisseaux pulmonaires. D'autres vaisseaux partent du même tronc dorsal pour se rendre à toutes les parties. Le canal intestinal des scorpions est droit et grèle ; leur foie se compose de quatre paires de grappes glanduleuses qui versent leur liqueur dans quatre points différens de l'intestin. Le mâle a deux verges, la femelle

deux vulves ; ces dernières donnent dans une matrice composée de plusieurs canaux qui communiquent les uns avec les autres, et que l'on trouve au temps du part, remplis de petits vivans ; les testicules sont aussi formés de quelques canaux anastomosés ensemble.

M. Cuvier a trouvé dans les araignées des organes de circulation et de respiration semblables ; seulement on n'y compte que deux paires de bourses pulmonaires ; mais dans les *phalangiums* ou *faucheurs*, il y a de véritables trachées, comme M. de la Treille l'avait déja fait connaître.

Le même membre a donné un mémoire sur l'anatomie de certains mollusques, appelés *acères* ou *sans cornes*, parce qu'ils n'ont point les filamens charnus qui servent aux genres voisins d'organes principaux du toucher. Leur coquilles sont rangées par les naturalistes dans le genre *bulla ;* quelques espèces les ont si minces, et tellement cachées sous la peau, qu'on ne peut y découvrir ces coquilles qu'en les disséquant. Ce que leur anatomie offre de plus remarquable, c'est que leur estomac est armé de plaques pierreuses, que l'on a prises quelquefois pour de véritables coquilles.

M. Péron, correspondant, que les sciences viennent de perdre, au moment où il allait commencer la publication des immenses richesses qu'il avait recueillies avec son ami M. Lesueur, dans le dernier voyage aux terres Australes, a présenté cette année un mémoire sur d'autres mollusques qui appartiennent à la famille appelée *ptéropodes* par M. Cuvier, parce que les animaux qui la composent n'ont d'autres organes du mouvement que des espèces d'ailes, ou de nageoires. M. Péron en fait connaître entre autres un genre nouveau, qu'il nomme *cymbulie,* très-remarquable par une

espèce de nacelle cartilagineuse, dans laquelle il navigue, et qui ressemble presque à celle du genre de seiche, plus anciennement connu le nom d'*argonaute*. Il paraît toutefois que quelques-uns des genres placés par M. Péron, dans cet ordre des *ptéropodes*, n'appartiennent pas véritablement à cette famille. Tels sont sur-tout les *carinaires*, les *ptérotrachées* et les *glaucus*, qui appartiennent tous à l'ordre des *gasteropodes* ou *limaçons*.

M. Bosc a fait connaître un genre nouveau de vers intestinaux, qu'il nomme *tetragule*, et dont il a découvert une espèce dans le poumon d'un cochon d'Inde. Un corps applati, plus gros en avant, des anneaux nombreux, garnis au-dessous de courtes épines ; la bouche à l'extrémité antérieure, accompagnée de chaque côté de deux gros crochets mobiles, l'anus à l'extrémité opposée, caractérisent ce genre.

Le public a entendu parler d'un très-grand poisson du genre des chiens de mer, qui a été apporté dans le courant du mois dernier. M. Blainville vient de présenter à la Classe diverses observations sur son anatomie. La petitesse de ses dents, son gosier étroit, les filamens charnus qui le garnissent, ne lui permettent guères, malgré son énorme taille, de vivre de grands animaux. La vésicule du fiel est fort éloignée de son foie, et rapprochée de l'intestin, comme celle de l'éléphant, etc.

M. Geoffroy-Saint-Hilaire, membre de la Classe, et professeur de zoologie au Muséum d'histoire naturelle, continue le grand travail qu'il a entrepris sur les quadrupèdes, et a lu cette année des recherches fort curieuses sur plusieurs tribus de la famille des chauve-souris. Après avoir fait sentir de quelle importance doivent être dans l'économie de ces

animaux, ces expansions cutanées, qui forment leurs ailes, leurs oreilles, et les crêtes dont leur museau est orné, il tire parti des diverses formes de ces expansions pour diviser la famille des chauve-souris en plusieurs genres. M. Geoffroy avait déja, il y a quelques années, conjointement avec M. Cuvier, établi sous le nom de phyllostome, un genre composé des espèces que portent une feuille sur le nez. Il montre maintenant que ce genre doit être subdivisé en deux; les vrais phyllostomes, tous du nouveau continent, ont une langue et des lèvres disposés pour sucer; aussi est-ce à ce genre qu'appartiennent les chauve-souris nommées vampires, qui sucent le sang des animaux endormis, et auxquels l'exagération ordinaire des voyageurs avait attribué la faculté de faire périr ainsi les hommes et les grands quadrupèdes; l'autre genre, que M. Geoffroy nomme Mégaderme, ne se trouve que dans l'ancien continent; sa langue n'est point organisée pour la succion; ses oreilles sont si larges qu'elles s'unissent l'une à l'autre sur le sommet de la tête, et son os intermaxillaire demeure cartilagineux. Il forme un chaînon marqué entre le genre des phyllostomes et celui des rhinolophes nommés communément *chauve-souris fer-à-cheval*, à cause de la figure des membranes placées sur leur nez.

MÉDECINE ET CHIRURGIE.

Dès la plus haute antiquité, les blessures à l'aisne ont été regardées comme mortelles; c'est presque toujours à l'aisne qu'Homère fait frapper les guerriers qu'il veut faire périr; et Pompée, à la bataille de Pharsale, ordonnait à ses soldats de viser à cette partie du corps. Le danger de ces blessures,

comme de celles de l'aisselle et du jarret, tient aux gros vaisseaux, et sur-tout aux artères qui sont presqu'immédiatement sous la peau dans cet endroit ; mais aujourd'hui la chirurgie est assez hardie pour ne pas toujours redouter ces sortes de lésion ; elle va chercher ces artères, et même de plus profondes, pour les lier et arrêter les hémorrhagies mortelles que leur rupture occasionne. M. Percy nous a donné, dans un mémoire à ce sujet, l'histoire de plusieurs opérations de ce genre, qu'il a pratiquées dans les dernières campagnes, et dont la plupart ont répondu à ses espérances.

M. Portal, qui a commencé, il y a plus de trente ans, à publier ses observations sur l'apoplexie, en a présenté cette année à la Classe, et va bientôt en livrer au public les résultats généraux. On sait que l'ouverture des corps a fait reconnaître dans le cerveau des apoplectiques, tantôt du sang, tantôt de l'eau épanchée; que l'on a cru pouvoir distinguer à l'inspection des malades, les apoplexies de la première espèce, au teint enflammé, au pouls dur et plein, et celles de la seconde, au teint pâle, au pouls faible, etc. ; enfin, que l'on prescrit d'ordinaire la saignée pour les premières, et l'émétique pour les autres.

M. Portal prouve par une foule d'observations que les signes admis pour distinguer l'apoplexie sanguine de l'apoplexie séreuse sont illusoires ; il distingue les apoplexies par leurs causes, dépendantes ou de la disposition du corps, ou de circonstances extérieures, et montre que d'après sa propre expérience et celle des grands praticiens de tous les temps, la saignée tient le premier rang parmi les remèdes que l'on peut opposer à cette maladie cruelle.

M. Pelletan vient de publier trois volumes sur tous les

points de l'art chirurgical, auxquels son expérience et ses observations ont pu ajouter des perfectionnemens. Tous les faits qu'il rapporte ont été observés par lui; et les réflexions auxquelles ils ont donné lieu ont cette empreinte originale qui appartient à toutes celles que la nature suggère. Il y traite de la broncotomie, de l'anévrisme externe et interne, des maladies syphilitiques, des hémorrhagies, des vices de conformation du cœur, de l'amputation, des épanchemens, etc. ; et il y parle aussi de quelques parties de la médecine légale, et de la physiologie. — Cet ouvrage, qui est dédié à l'Institut, est le fruit de quarante années d'expériences dans un homme qui a occupé toutes les places qui peuvent fournir l'occasion d'en faire, et qui a nécessairement dû être appelé à toutes les consultations remarquables de la capitale; c'est assez dire combien il est riche et digne d'attirer l'attention des gens du métier ! On y trouve plusieurs des Mémoires dont nous avons rendu compte dans nos analyses précédentes.

L'ouvrage important de M. Sabatier, qui traite de la médecine opératoire, a paru pour la première fois en 1796; l'édition s'épuisa promptement, et l'on en a fait deux contrefaçons. Vingt ans de guerres ont dû multiplier les connaissances chirurgicales, et faciliter les travaux des nouveaux chirurgiens ; et cependant personne n'a pu éclipser le mérite de cet excellent livre. Conçu par un homme qui a profondément médité son sujet, il ne contient rien d'inutile, et semble ne laisser rien de nécessaire à desirer. Les hommes de l'art y trouvent à exercer leur jugement sur tous les cas qui peuvent se présenter, et sur toutes les méthodes proposées pour les traitemens. La nouvelle édition en trois vo-

lumes, qui vient de paraître, se distingue encore par un nouvel ordre : la correction et la précision du style, qui l'ont toujours fait remarquer parmi les autres productions de ce genre, s'y trouvent portées encore à un plus haut point ; enfin l'auteur y a fait, à plusieurs chapitres, des additions importantes.

M. Dumas, correspondant et doyen de la faculté de médecine de Montpellier, a rendu compte d'une méthode ingénieuse, par laquelle il est parvenu à guérir une épilepsie. Ayant remarqué que les accès étaient à-peu-près en même nombre, dans des espaces de temps égaux, et que le malade les accélérait chaque fois qu'il faisait usage de liqueurs fortes, il imagina d'employer ce moyen pour leur donner une périodicité régulière ; et ayant obtenu cette marche, il administra le quinquina. La vertu anti-périodique de ce remède produisit son effet, et ce ne fut qu'en donnant ainsi au mal la forme qui le soumettait en quelque sorte à ce remède, que l'on en obtint la guérison.

AGRICULTURE ET TECHNOLOGIE.

Tous les efforts des physiciens habitués à appliquer leur science à des objets d'utilité immediate, sont dirigés en ce moment vers les moyens de suppléer aux denrées coloniales par des productions indigènes.

Le public connaît, par nos rapports précédens, et par divers Mémoires imprimés, les travaux de M. Proust sur le sucre de raisin ; ceux de M. Parmentier sur le sirop ; ceux de M. Achard sur le sucre de betterave, etc.

M. Parmentier a encore communiqué cette année à la

Classe des expériences comparatives sur la force sucrante de la cassonade de raisin épurée, et du sucre; en les dissolvant dans des quantités égales d'eau, en quantité convenable pour produire des saveurs égales, il a trouvé que la cassonade de raisin n'était que d'un cinquième plus faible; il pense au reste que l'on n'arrivera complètement à la solution du problême tant desiré, qu'en s'y prenant dès le principe, par des améliorations convenables dans la culture de la vigne.

M. Deyeux a présenté à la classe un pain de sucre tiré de la betterave, et qui avait toute la blancheur et le goût du sucre de canne; il a annoncé que cette substance va être fabriquée en grand par des propriétaires qui ont consacré à cet essai quatre cents arpens de terrain, et qui comptent tirer de la betterave tous les autres avantages qu'elle peut fournir. C'est alors seulement que l'on saura à quoi s'en tenir sur les avantages d'un procédé qui changera les rapports des deux mondes, s'il réussit.

Aussitôt que l'attention s'est fixée en France sur l'amélioration de nos troupeaux, il a paru plusieurs ouvrages, dans lesquels on a indiqué des moyens de parvenir à ce but. Les progrès dans ce genre d'industrie agriculturale ont été plus rapides qu'on n'aurait pensé. Peu-à-peu la matière a été mieux étudiée et plus approfondie. Pour mettre les propriétaires de bêtes à laine au niveau des connaissances acquises, et pour les éclaïrer davantage, le Gouvernement a cru nécessaire de publier une nouvelle instruction, dont il a chargé M. Tessier, c'est-à-dire l'homme qui, pour la former, avait réuni par l'observation et des expériences

nombreuses tous les élémens nécessaires; sa place d'inspecteur des bergeries impériales, le soin qu'il donne depuis quinze ans à un beau troupeau qui lui appartient, et des recherches qui datent de plus de ving-cinq ans, tout semble justifier le choix du ministère.

L'ouvrage de M. Tessier est intitulé : *Instruction sur les bêtes à laine, et particulièrement sur la race des Mérinos.* A Paris, de l'Imprimerie Impériale, an 1810, un volume.

Le plan que l'auteur admet est pris dans la nature des choses. Après avoir désigné les races de bêtes à laine les plus tranchées, et signalé celle des mérinos, préférablement à toutes, il expose l'emploi qu'on en peut faire pour établir des troupeaux de mâles, de progression et de race pure, et les manières différentes d'en tirer parti. Il passe ensuite à des détails relatifs à la reproduction, aux soins qu'exigent ces animaux dans les bergeries, aux champs et en voyage, et à leur produit en laine, considéré sous les rapports de la qualité, de la quantité, de la tonte, de la conservation des toisons, du lavage et de la vente. On avait négligé de décrire exactement toutes les maladies auxquelles sont sujettes les bêtes à laine, les moyens de les prévenir et de les guérir. M. Tessier a fait de cet objet une partie principale de son ouvrage; ce n'est pas la moins importante, car c'est celle qui était le plus desirée. L'éducation des bergers, et même de leurs chiens, n'a pas été oubliée; elle termine l'instruction.

L'auteur par-tout a réuni la clarté à la simplicité; ce genre d'écrits exige une pareille attention. L'accueil que font à son livre les propriétaires de troupeaux en prouve l'utilité.

M. Huzard qui avait publié en 1802, par ordre du Gouvernement, une troisième édition de l'*Instruction pour les bergers et pour les propriétaires de troupeaux, par Daubenton,* avec beaucoup de notes intéressantes, en a publié cette année la quatrième édition, dans laquelle il a ajouté de nouvelles notes, sur la salubrité des bergeries, sur plusieurs maladies des bêtes à laine, leurs voyages, les aliments, les laines, les agneaux, etc.; il y a joint une vingt-troisième planche sur la castration, et tout ce qui est relatif à l'histoire littéraire et aux diverses traductions de cet ouvrage, qui a puissamment contribué à l'amélioration des laines de France, et à la révolution avantageuse qui s'est opérée dans cette branche importante de l'industrie nationale, dont l'auteur doit être regardé, sans contredit, comme le patriarche.

M. Huzard a encore publié un Mémoire, sur une épizootie, qui a frappé cette année les bestiaux de la vallée d'Auge.

Enfin, à tous ces travaux des membres de la Classe, nous devons ajouter les travaux communs de la compagnie; elle a eu l'honneur, il y a quelques jours, de présenter à Sa Majesté Impériale le volume de ses Mémoires pour 1809, et les deux Rapports rédigés en son nom par ses secrétaires perpétuels sur les progrès des sciences mathématiques et physiques, depuis 1789 jusqu'à 1807. Ces derniers ouvrages sont imprimés depuis un an, à l'Imprimerie Impériale, par ordre de Sa Majesté.

CLASSE
DES SCIENCES
MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES
DE L'INSTITUT IMPÉRIAL
DE FRANCE.

Séance du 7 janvier 1811.

PRIX
PROPOSÉ AU CONCOURS
POUR L'ANNÉE 1813.

DEPUIS que Blake a reconnu que tous les corps ne demandent pas la même quantité de chaleur pour acquérir une même élévation de température, on a fait un grand nombre d'expériences pour déterminer les différences que présentent sous ce rapport les diverses substances, et l'on est parvenu, par différentes méthodes, à des résultats satisfaisans pour les solides et les liquides; mais les tentatives que l'on a faites jusqu'à présent sur le rapport des chaleurs spécifiques des substances gazeuses entre elles ou avec l'eau, terme ordinaire de comparaison, ont conduit à des résultats

si éloignés les uns des autres, qu'on ne peut leur donner aucune confiance. On se contentera de citer ceux de Crawford et de Lavoisier, sur l'air atmosphérique. Selon le premier, la chaleur spécifique de l'air, en comparant les poids, est à celle de l'eau comme 1.790 est à 1.000; et selon le dernier elle n'est que de 0.300.

La Classe des Sciences physiques et mathématiques de l'Institut rappelle l'attention des physiciens sur cet objet dont il est facile de faire sentir l'importance. En effet, tant que la chaleur spécifique des gaz sera indéterminée, on ne pourra faire aucune recherche exacte sur la chaleur dégagée dans diverses combinaisons, ni sur celle que produisent les animaux. On peut espérer que la détermination de la chaleur spécifique des gaz conduira à la solution de la question indécise, s'il existe dans les corps du calorique à l'état de combinaison, ou si toute la chaleur dégagée dans les combinaisons est due au changement de la chaleur spécifique des corps qui se combinent.

La Classe des Sciences mathématiques et physiques propose pour sujet du prix de physique qu'elle adjugera dans la séance publique du premier lundi de janvier 1813, la question suivante:

Déterminer la chaleur spécifique des gaz, et particulièrement celle de l'oxigène, de l'hydrogène, de l'azote et de quelques gaz composés, en la comparant à la chaleur spécifique de l'eau; déterminer, au moins par approximation, la différence de chaleur spécifique qui est produite par la dilatation de ces gaz. Les concurrens sont invités à indiquer les principales conséquences de ces nouvelles déterminations dans les théories physiques.

Le prix sera de la valeur de 3000 francs.

Le terme du concours est fixé au premier octobre 1812.

Le résultat en sera publié le premier lundi de janvier 1813.

Les Mémoires devront être adressés, francs de port, au Secrétariat de l'Institut, avant le terme prescrit, et porter chacun une épigraphe ou devise qui sera répétée, avec le nom de l'Auteur, dans un billet cacheté joint au Mémoire.

ÉLOGE HISTORIQUE

DE M. LE COMTE FOURCROY,

PAR M. CUVIER, Secrétaire perpétuel pour les Sciences Physiques.

Lu le 7 janvier 1811.

L'HISTOIRE de cette longue suite d'hommes de mérite qui ont appartenu à l'Académie des Sciences pendant les cent trente années de son existence, est riche en instructions de plus d'un genre. Ce n'est pas seulement le spectacle imposant des travaux utiles, des grandes découvertes de ces hommes célèbres qui nous intéresse; nous prenons encore un plaisir particulier à faire avec eux une connaissance intime; la simplicité de leurs mœurs, la sérénité de leur vie passée loin du monde et de ses agitations, ont quelque chose de touchant, et les sciences, déja si respectables par leur utilité générale, le deviennent davantage encore quand on voit à quel point elles rendent heureux ceux qui ne vivent que pour elles.

Les savans de notre âge n'ont pas tous joui de ce bonheur; de grands changemens dans l'Etat leur ont ouvert une nouvelle lice; il en est qui se sont laissés entraîner sur le théâtre tumultueux des affaires, séduits par l'espoir de rendre à leurs contemporains des services plus immédiats, et croyant qu'un esprit exercé à la recherche de la vérité leur suffirait pour se diriger au milieu de cette foule sans cesse agitée en des sens

divers par ses passions personnelles. Des malheurs cruels, les persécutions, la mort, ont été pour quelques-uns la peine de cette innocente erreur; ceux même dont les succès pourraient en imposer n'ont eu que trop d'occasions, au milieu des soucis et des peines secrètes du cœur, de regretter le calme du cabinet, et ces travaux paisibles qui leur méritaient à coup sûr l'approbation et le respect, tandis que dans leur autre carrière les intentions les plus pures n'ont pu les mettre toujours à l'abri de la calomnie, ni la bienfaisance la plus active les préserver de l'ingratitude.

L'homme illustre dont nous allons vous entretenir s'est livré plus d'une fois avec amertume à cette comparaison; et dans ses momens les plus prospères, où l'idée que l'on se faisait de son crédit l'entourait de plus de flatteurs, aussi bien que dans ceux où quelque bruit opposé le rendait à son isolement, il tournait sans cesse ses regards en arrière vers ce temps où, sans autre influence que celle de son talent, il était sûr de voir accourir à lui des milliers d'auditeurs de tous les pays où l'on cultive les sciences, et de compter, pour ainsi dire, autant d'élèves reconnaissans qu'il existait de chimistes éclairés.

Sa vie, si instructive sous ce rapport, ne l'est pas moins dans ses autres détails : elle nous montre le pouvoir du travail et de la volonté pour maîtriser la fortune, aussi bien que l'impuissance de la fortune pour donner le bonheur; elle se rattache essentiellement à l'une des plus brillantes époques de l'histoire des sciences, et tient une place importante dans celle de notre régénération politique; enfin, sans avoir été longue, elle est tellement remplie, que le temps qui m'est accordé me suffira à peine pour en tracer sommairement les princi-

paux actes, et que si j'ai quelque indulgence à demander, ce ne sera point, comme il arrive si souvent dans les éloges, pour avoir appuyé avec trop de complaisance sur des faits de peu de valeur, mais pour avoir passé avec trop de rapidité sur des travaux qui tiendraient une grande place dans l'éloge d'un autre.

Antoine-François de Fourcroy, comte de l'Empire, conseiller d'État, commandant de la Légion-d'honneur, membre de l'Institut, et de la plupart des Académies et Sociétés savantes de l'Europe, professeur de chimie au Muséum d'Histoire Naturelle, à la Faculté de Médecine de Paris et à l'École Polytechnique, naquit à Paris, le 15 juin 1755, de Jean-Michel de Fourcroy et de Jeanne Laugier.

Sa famille était ancienne dans la capitale, et plusieurs de ses parens s'étaient distingués au bareau. L'un d'eux, sous le règne de Charles IX, mérita que l'on fit de son nom cette anagramme, peu exacte à la vérité, quant aux lettres, mais juste quant au sens, *fori decus.* Un second, Bonaventure de Fourcroy, auteur de plusieurs morceaux de jurisprudence et de littérature, fut particulièrement aimé du grand président de Lamoignon; c'est de lui qu'on rapporte cette plaisanterie d'avoir invité Boileau à un repas exactement semblable à celui que décrit ce poëte dans sa III[e] satire, plaisanterie que les conviés trouvèrent, dit-on, assez froide. Un troisième, Charles de Fourcroy, se rendit célèbre sous Louis XV, et son fils, Charles-René de Fourcroy de Ramecourt, maréchal-de-camp et cordon rouge, siégea pendant plusieurs années à l'Académie des Sciences avec celui dont nous faisons l'histoire.

Antoine-François de Fourcroy, qui était destiné à faire

revivre dans une autre carrière l'éloquence de ses ancêtres, appartenait à une branche tombée par degrés dans la pauvreté. Son père exerçait à Paris l'état de pharmacien, mais seulement en vertu d'une charge qu'il avait dans la maison du duc d'Orléans. La corporation des apothicaires obtint la suppression générale de ces sortes de charges, et cet événement détruisit le peu de fortune qui restait à M. de Fourcroy le père, en sorte que son fils ne commença à se connaître qu'au milieu des malheurs que le monopole des corps privilégiés avait fait éprouver à sa famille,

Il en conserva un souvenir d'autant plus vif, qu'un tempérament délicat lui avait donné dès l'enfance une extrême sensibilité. Ayant perdu sa mère à l'âge de sept ans, il voulait se jeter dans sa fosse. Les soins tendres d'une sœur aînée eurent peine à le conserver jusqu'à l'âge où l'on put le faire entrer au collége.

Ici de nouvelles injustices durent encore ulcérer ce jeune cœur contre la société. Le hasard le fit tomber sous un préfet brutal, qui le prit en aversion, et qui trouvait quelque prétexte pour le faire fustiger chaque fois qu'il réussissait à avoir de bonnes places. Ce genre d'encouragement finit par lui donner de l'horreur pour l'étude, et il quitta le collége à quatorze ans, un peu moins instruit qu'il n'y était entré.

S'il eût été riche, il en serait probablement resté là, et le dégoût inspiré par un mauvais maître, eût étouffé en lui les heureux germes que la nature y avait placés; mais l'adversité l'attendait, et devint pour lui un maître plus utile, qui répara les torts de l'autre.

On est effrayé quand on voit ce jeune homme, destiné à devenir l'un de nos savans les plus illustres, réduit pour

vivre à une petite place de copiste, et à montrer à écrire à des enfans. On assure qu'il conçut jusqu'au projet de se faire comédien, et que peut-être il le fût devenu, si un de ses camarades, qui avait tenté avant lui cette périlleuse carrière, n'eût été impitoyablement sifflé en sa présence. Le jeune Fourcroy ne voulut plus d'un métier où l'on punit si durement la mauvaise réussite. On dirait qu'il se sentait déja destiné à en prendre un dont le sort est tout opposé; et en effet, bientôt après, les conseils de Viq-d'Azyr le décidèrent pour la médecine.

Ce grand anatomiste voyait et estimait M. de Fourcroy le père; frappé de l'heureuse physionomie du fils, et du courage avec lequel il luttait contre la mauvaise fortune, son peu d'instruction ne l'effraya point. Il le consola, lui promit de le diriger, de le soutenir, et il tint parole. Nous avons entendu M. de Fourcroy jusqu'à ses derniers jours parler avec une tendre reconnaissance de ce protecteur de sa jeunesse.

Devenir médecin n'était pas une chose aisée dans sa situation. Cinq ou six années d'une étude assidue allaient lui devenir nécessaires, et il n'avait pas de quoi subsister six mois. A l'époque de sa plus grande fortune, on lui a entendu rappeler des détails plaisans sur le degré de détresse où il se trouvait quelquefois réduit. Logé dans un grenier, dont la lucarne était si étroite que sa tête, coeffée à la mode de ce temps-là, ne pouvait y passer qu'en diagonale, il avait à côté de lui un porteur d'eau, père de douze enfans. C'était le jeune étudiant qui traitait les nombreuses maladies d'une si nombreuse famille : le voisin lui rendait service pour service; *aussi*, disait-il, *je ne manquais jamais d'eau.*

Le reste, il se le procurait chétivement, par des leçons à

d'autres écoliers, par des recherches pour des écrivains plus riches que lui, et par quelques traductions, qu'il vendait à un libraire; pauvre ressource, car il ne fut payé qu'à moitié: il est vrai, dit-on, que le consciencieux libraire voulut bien acquitter le reste de sa dette, trente ans après, quand son créancier fut devenu directeur-général de l'instruction publique.

Cette résignation au besoin, cette ardeur au travail, purent bien réparer les défauts de la première éducation, et faire de M. de Fourcroy un médecin instruit. Mais ce n'était pas tout; il fallait être encore un médecin patenté, et le brevêt de docteur revenait alors à plus de 6000 francs.

Un ancien médecin, le Dr Diest, avait laissé des fonds à la Faculté pour qu'elle accordât tous les deux ans des licences gratuites à l'étudiant pauvre qui les mériterait le mieux. M. de Fourcroy concourut en 1780 pour cette espèce de prix. Une grande facilité naturelle, et les efforts auxquels sa position l'avait obligé, le portèrent au premier rang; il allait obtenir le seul moyen d'existence qui lui restât à espérer; l'esprit de corporation pensa lui faire encore autant de mal qu'à son père.

Il y avait alors je ne sais quelle querelle entre la Faculté chargée de l'enseignement de la médecine et de la collation des grades, et une société que le Gouvernement venait d'établir, pour recueillir les observations propres à reculer les bornes de l'art. A cette époque heureuse où l'on s'occupait sérieusement des petites choses, un public malin avait envenimé la dispute par l'attention qu'il y avait donnée : on en était venu aux sarcasmes, aux injures, aux calomnies; des différends sans importance étaient dégénérés en fureur.

L'animosité de la Faculté avait pris pour son objet principal Viq-d'Azyr, secrétaire de la Société, et Fourcroy était le protégé connu de Viq-d'Azyr : on le rejeta par ce seul motif; et l'un des hommes qui ont fait le plus d'honneur à la médecine, celui qui, dans ces derniers temps, en a restauré l'enseignement, aurait été privé pour jamais du titre de médecin, si par un esprit de parti contraire, mais plus noble, la Société n'eût fait une collecte pour lui avancer les frais de sa réception.

Il fallut donc le recevoir docteur puisqu'il paya; mais il y avait encore au-dessus du simple doctorat le grade de docteur-régent; celui-là ne dépendait que des suffrages de la Faculté; il fut refusé à Fourcroy d'une voix unanime, ce qui l'empêcha dans la suite d'enseigner aux Écoles de médecine, et donna à cette compagnie le triste agrément de ne point avoir dans ses registres le nom de l'un des plus grands professeurs de l'Europe.

En vérité, il semble que l'on peut pardonner à un homme d'un caractère irritable, qui avait passé toute sa jeunesse dans le malheur, et qui après l'avoir vaincu, à force de courage, pouvait y être subitement replongé par de si misérables motifs, on peut lui pardonner, dis-je, d'avoir conservé des impressions vives contre des institutions dont l'abus avait pensé lui être si funeste.

Cependant les plus grands obstacles étaient surmontés; M. de Fourcroy une fois admis à exercer la médecine, son sort ne dépendait plus que de sa réputation; il s'occupa de la faire; et comme il avait besoin d'aller vîte, il choisit la voie des travaux scientifiques qui donnent d'ordinaire aux médecins une renommée plus prompte et moins dépendante des caprices de l'opinion.

Ses premiers écrits montrèrent qu'il ne tenait qu'à lui de choisir la branche de la physique où il voudrait se distinguer. Ils furent presque également remarquables en chimie, en anatomie, et en histoire naturelle. On reconnaît un digne élève de Geoffroy dans son *Abrégé de l'Histoire des insectes,* et un homme formé à l'école de Viq-d'Azyr dans sa *Description des bourses muqueuses des tendons ;* l'Académie des Sciences lui en rendit témoignage, car ce fut comme anatomiste qu'elle le reçut en 1785. Néanmoins il donna de bonne heure la préférence à la chimie, entraîné par le talent de Bucquet qui s'accordait mieux avec celui que la nature commençait à faire éclore en lui.

Bucquet était alors le professeur le plus suivi de la capitale ; de la méthode, des idées claires, une grande justesse d'expression, de la chaleur et de la noblesse dans le langage, attiraient même les gens du monde à ses cours. Il apprécia bientôt un élève si digne de lui ; et un jour que des souffrances imprévues l'empêchèrent de faire sa leçon, il engagea Fourcroy à le remplacer. En vain le jeune homme allègue son peu d'habitude du monde, et représente qu'il n'a encore parlé que pour quelques camarades ; le maître insiste, lui garantit le succès, le presse au nom de l'amitié ; Fourcroy vaincu monte en chaire, et la première fois qu'il parle en public, il parle deux heures sans hésitation, sans désordre, comme s'il eût été un professeur consommé. Il a dit souvent depuis que dans cette étonnante épreuve, il ne vit rien, n'entendit rien, fut livré tout entier à l'entraînement de sa situation.

Bucquet, que des maladies graves devaient bientôt conduire au tombeau, vit dès-lors en Fourcroy, l'héritier de son talent ; mais il ne le traita point comme tant de gens

traitent leur héritier ; il mit au contraire du zèle à diriger vers lui la faveur du public ; il lui prêta généreusement son amphithéâtre et son laboratoire. C'est chez Bucquet que Fourcroy fit ses premiers cours et composa ses premiers élémens de chimie. Un mariage avantageux, suite de l'accueil qu'il obtint, lui fournit les moyens d'acheter le cabinet de son maître après sa mort, et si la Faculté ne lui permit pas de succéder à la place de Bucquet, elle ne put l'empêcher de succéder promptement à sa réputation.

Le Jardin du Roi n'était pas astreint dans le choix de ses professeurs aux règles établies dans l'Université, et M. de Buffon qui en était l'intendant, savait se prévaloir d'un tel privilége. Macquer qui y remplissait la chaire de chimie étant venu à mourir en 1784, la voix publique se prononça tellement pour Fourcroy, que M. de Buffon reçut plus de cent lettres en sa faveur, toutes écrites par des personnages considérables dans le monde ou dans les sciences.

M. de Buffon hésitait cependant, car Fourcroy avait pour rival un grand chimiste protégé par un grand prince ; mais les recommandations les plus nombreuses l'emportèrent, et l'homme de génie à qui un talent séduisant fut alors préféré s'est applaudi depuis, d'avoir, en perdant une place, gagné un si heureux propagateur de ses découvertes.

Pendant plus de vingt-cinq ans l'amphithéâtre du Jardin des Plantes a été pour M. de Fourcroy le principal foyer de sa gloire.

Les grands établissemens scientifiques de cette capitale, où des maîtres célèbres exposent à un public nombreux et digne d'être leur juge, les doctrines les plus profondes de nos sciences modernes, rappellent à notre souvenir ce que l'an-

tiquité eut de plus noble. On croit y retrouver à-la-fois ces assemblées où tout un peuple était animé par la voix d'un orateur, et ces écoles où des hommes choisis venaient se pénétrer des oracles d'un sage; les leçons de M. de Fourcroy, du moins, répondaient complétement à cette double image. Platon et Démosthènes y semblaient réunis, et il faudrait être l'un ou l'autre pour en donner une idée. Enchaînement dans la méthode, abondance dans l'élocution ; noblesse, justesse, élégance dans les termes comme s'ils eussent été longuement choisis ; rapidité, éclat, nouveauté, comme s'ils eussent été subitement inspirés ; organe flexible, sonore, argentin, se prêtant à tous les mouvemens, pénétrant dans tous les recoins du plus vaste auditoire ; la nature lui avait tout donné. Tantôt son discours coulait également et avec majesté ; il imposait par la grandeur des images et la pompe du style ; tantôt variant ses accens, il passait insensiblement à la familiarité ingénieuse, et rappelait l'attention par des traits d'une gaîté aimable. Vous eussiez vu des centaines d'auditeurs de toutes les classes, de toutes les nations passer des heures entières pressés les uns contre les autres, craignant presque de respirer, les yeux fixés sur les siens, suspendus à sa bouche comme dit un poète *(pendent ab ore loquentis)* ; son regard de feu parcourait cette foule ; il savait distinguer dans le rang le plus éloigné l'esprit difficile qui doutait encore, l'esprit lent qui ne comprenait pas ; il redoublait pour eux d'argumens et d'images ; il variait ses expressions jusqu'à ce qu'il eût rencontré celles qui pouvaient les frapper ; la langue semblait multiplier pour lui ses richesses ; il ne quittait une matière que quand il voyait tout ce nombreux auditoire également satisfait.

Et ce talent sans égal brilla de son éclat le plus vif, à l'époque où la science elle-même fit les proprès les plus inouis.

Lorsque M. de Fourcroy commença ses cours, Bergman venait de donner une précision mathématique aux analyses de la chimie ; on venait d'apprendre à recueillir et à distinguer les élémens aëriformes des corps ; Priestley faisait connaître chaque jour de nouvelles sortes d'airs ; la théorie de la chaleur changeait de face dans les mains de Black et de Wilke ; Cavendish et Monge découvraient la composition de l'eau ; le génie de Lavoisier enfin trouvait à force de méditations le secret de la combustion qui est aussi celui de presque toute la chimie, et soumettait aux lois de cette science les principaux phénomènes des corps organisés.

Loin d'imiter ces savans orgueilleux qui repoussent avec obstination les découvertes qu'ils n'ont pas faites, M. de Fourcroy se fit un honneur d'adopter et de propager avec une égale impartialité celles de tous ses contemporains. Ce n'était pas seulement le plaisir de l'entendre qui attirait à ses leçons ; c'était encore la certitude d'y être aussi-tôt informé de toutes ces vérités merveilleuses que chaque jour semblait voir éclore. Des pays les plus éloignés l'on accourait à Paris s'instruire sous lui ; les princes entretenaient des jeunes gens pour le suivre, qui, chaque année, comme des essaims de missionnaires, couraient répandre dans toute l'Europe, au Brésil, au Mexique, aux États-Unis cette doctrine dont un maître si éloquent avait pénétré leur esprit et leur imagination.

Il a fallu élargir deux fois le grand amphithéâtre du Jardin des Plantes, parce que cette salle immense ne pouvait contenir la foule de ceux qui venaient entendre M. de Fourcroy.

Quelqu'un a cru le tourner en ridicule en l'appelant l'apôtre de la nouvelle chimie; c'était à ses yeux le plus beau titre de gloire; il y a eu des temps où il faisait, pour le mieux mériter, trois ou quatre leçons par jour, et dans les intervalles il s'occupait à mettre ces leçons par écrit pour les répandre au-delà de son amphithéâtre.

Les six éditions qu'il a données de son Cours en vingt ans, conservent toutes un égal intérêt comme monumens successifs des incroyables progrès qu'une science a pu faire dans un si court espace; la première, qui date de 1781, n'a que deux volumes sans être trop concise, et la sixième de 1801, en a dix sans contenir rien de trop.

La philosophie chimique joint à ce même intérêt historique le mérite d'une précision et d'une clarté qui en ont fait le livre élémentaire de presque toute l'Europe. L'on en a donné en peu d'années (1792, 1796, 1806) trois éditions françaises, et huit ou dix traductions. Elle vient d'être imprimée en grec moderne, et on l'enseigne à Athènes, à Smyrne et à Constantinople.

Il a fait encore deux autres abrégés, l'un pour les écoles vétérinaire, et le second pour les dames; enfin, il s'est chargé en grande partie de la chimie dans l'*Encyclopédie méthodique*, et dans le Dictionnaire des sciences naturelles.

Ainsi l'on peut dire avec justice, que sans l'activité étonnante de M. de Fourcroy, la chimie moderne n'aurait pas obtenu à beaucoup près si vîte l'assentiment presque universel dont elle jouit, et cependant ce serait se faire une idée très-imparfaite des services qu'il lui a rendus, que de les réduire à son enseignement.

Il l'a aussi prodigieusement enrichie; mais, ce qui est un

caractère particulier de ses travaux, c'est presque toujours pour mieux l'enseigner qu'il l'a enrichie.

Ses leçons étaient pour lui autant de sources de réflexions ; le besoin de satisfaire les autres et lui-même lui faisait apercevoir chaque fois qu'il parlait quelqu'une des choses qui manquaient à la science sur chaque matière, et aussi-tôt il passait de son amphithéâtre à son laboratoire. Tel est en effet pour les professeurs d'un bon esprit, l'un des grands avantages de leurs fonctions ; sans cesse en haleine, obligés de présenter sous toutes les formes les divers principes dont leur science se compose, il est presque impossible qu'ils n'aient souvent des aperçus nouveaux ; aussi peut-on remarquer que depuis Aristote jusqu'à Newton, les hommes qui ont le plus avancé l'esprit humain enseignaient publiquement.

M. de Fourcroy, plus empressé de faire jouir les chimistes des faits nouveaux qu'il découvrait, que de les étonner par des résultats profonds et long-temps médités, consignait les détails de ses expériences, pour ainsi dire à mesure qu'il les faisait, dans des Mémoires particuliers, et nous avons déja trouvé qu'il a fait imprimer plus de cent soixante de ces Mémoires, quoiqu'il en manque sûrement encore quelques-uns dans notre liste. Les volumes de l'Académie des Sciences, de l'Institut, des Sociétés de médecine et d'agriculture, la grande collection des Annales de Chimie, celles du Journal de Physique, et du Journal des Mines en sont remplies. Il avait entrepris lui-même un recueil périodique sur les applications de la chimie à la médecine ; il a dirigé pendant trois ans la rédaction du Journal des Pharmaciens, et les Annales du Muséum d'Histoire Naturelle dont il a conçu la première idée, contiennent beaucoup de ses articles.

On conçoit que ce n'est pas en produisant avec une telle abondance qu'il est possible de donner à ses productions une perfection absolue, et nous avouerons que l'on remarque dans les mémoires de M. de Fourcroy, des idées en général plus étendues que profondes; ses conclusions sont quelquefois un peu précipitées ; il a été assez souvent obligé de se réformer lui-même, et n'a pu toujours éviter de l'être par d'autres. Cependant on ne peut disconvenir aussi, que ses résultats ne soient toujours précis et sensibles ; qu'il n'envisage son objet principal par ses diverses faces, et ne l'attaque par tous les agens que la chimie possède ; qu'il ne mette beaucoup d'ordre dans la marche des expériences, et sur-tout une clarté admirable dans leur exposition, car il était encore grand professeur alors qu'il aurait pu se contenter du rôle plus élevé que ses découvertes lui donnaient; enfin, malgré tout ce que l'on a pu reprendre dans ses écrits, les vérités importantes qu'il a fait connaître, sont encore tellement nombreuses, que nous sommes obligés, pour en rendre compte, d'y établir un certain ordre, et de les distribuer selon qu'elles se rapportent ou aux principes généraux de la chimie, ou à l'un des règnes de la nature en particulier.

Je sens que l'exposé de cette multitude de travaux de détail, ne peut intéresser autant que des événemens variés ou que ces découvertes d'une influence universelle, et qui se laissent exprimer en peu de mots; mais je sens aussi ce que je dois à ma place, et au corps devant lequel je parle. L'histoire des sciences est notre fonction principale ; et notre premier devoir est précisément d'y consigner ces recherches nécessaires pour remplir les lacunes du système de nos connaissances, mais qui ne se recommandent par rien de frappant à l'attention du vulgaire.

La principale expérience de M. de Fourcroy, pour la chimie générale, est celle de la combustion de l'air inflammable nommé gaz hydrogène par les nouveaux chimistes. Cavendish et M. Monge avaient découvert que cette combustion produit de l'eau, et l'on en avait conclu que l'eau est composée d'hydrogène et d'oxigène ; mais l'eau que l'on obtenait était toujours plus ou moins mélangée d'acide nitreux, ce qui fournissait aux antagonistes de la chimie moderne une objection qu'ils croyaient décisive. MM. de Fourcroy, Vauquelin et Séguin, parvinrent, en 1792, à obtenir de l'eau pure en opérant avec plus de lenteur, et montrèrent que l'acide venait de quelques parcelles d'azote toujours mêlées à l'oxigène, et qui brûlaient avec l'hydrogène quand la combustion était trop vive.

Un chimiste allemand, M. Gœttling, avait tiré une autre objection de ce que le phosphore luisait dans du gaz azote que l'on croyait pur ; preuve, disait-il, que certains corps peuvent brûler sans oxigène. MM. de Fourcroy et Vauquelin montrèrent que le phosphore se dissout dans l'azote, et n'y brûle que par un peu d'oxigène qui y reste.

On pourrait aussi rapporter à la chimie générale les explications données par M. de Fourcroy de la détonation du nitre et des diverses poudres fulminantes, mais elles lui sont communes avec d'autres chimistes.

Ce qui lui est plus particulier, c'est la découverte de plusieurs composés qui détonnent par la simple percussion, et qui ont tous pour base l'acide muriatique oxigéné mêlé à divers combustibles ; un coup de marteau enflamme ces mélanges avec un bruit violent.

M. de Fourcroy a fait un grand nombre d'analyses, soit

de minéraux à l'état concret soit d'eaux plus ou moins minéralisées.

Parmi ces dernières, on doit compter sur-tout celle de l'eau sulfureuse de Montmorency, faite en commun avec M. de la Porte, en 1787, et qui a servi long-temps de modèle à ces sortes d'analyses si importantes pour la médecine. Elle offrait des méthodes beaucoup plus exactes que celles de Bergman, parce que l'on y avait profité de tous les moyens indiqués par Priestley, pour retenir et pour examiner les fluides élastiques.

L'un des phénomènes les plus curieux que l'on ait reconnus dans ces derniers temps, est celui des pierres qui tombent de l'atmosphère, et dont la composition, toujours semblable, ne ressemble à celle d'aucune des pierres connues sur la terre. M. de Fourcroy a travaillé avec M. Vauquelin à constater ce dernier caractère, qui fait l'une des preuves les plus essentielles du phénomène.

C'est dans ses recherches sur les minéraux que M. de Fourcroy découvrit les moyens de distinguer et d'obtenir à l'état de pureté les deux terres nommées baryte et strontiane, si voisines des métaux par leur pesanteur, et des alcalis par leurs autres propriétés. Les procédés qu'il indiqua sont encore ceux dont on se sert aujourd'hui.

Le platine ou l'or blanc, substance qui nous vient du Pérou, et qui, plus pesante et aussi inaltérable que l'or, est en même temps dure et susceptible de poli comme l'acier, passait pour un métal simple. Les travaux presque simultanés de MM. Descotils, Wollaston, Smithson-Tennant, ont découvert, il y a quelques années, qu'il s'y mêle quatre autres substances métalliques auparavant inconnues. Une ou deux de ces sub-

stances furent aperçues par MM. de Fourcroy et Vauquelin, qui s'occupaient du platine en même temps que les chimistes dont nous venons de parler.

Il existe un minéral appelé *arragonite*, qui est jusqu'à ce jour la pierre d'achopement de la chimie et de la minéralogie, parce qu'avec des formes cristallines, une dureté, une densité et une force réfringente différentes de celles du spath calcaire, il offre les mêmes élémens que ce spath, et dans la même proportion. MM. de Fourcroy et Vauquelin ont contribué à constater ce fait jusqu'à présent inexplicable.

A l'époque où beaucoup d'églises perdirent leur destination, une quantité immense de cloches fut livrée au commerce. Ces bruyans instrumens sont composés de cuivre et d'étain, mélange qui, dans cette proportion, n'est bon qu'à faire des cloches. Il fallait séparer ces métaux pour en tirer parti, et cela parut d'abord impossible. M. de Fourcroy imagina d'oxider, c'est-à-dire de calciner, une partie de l'alliage et de la mêler avec une autre partie non oxidée. L'oxide de cuivre de la première portion abandonne tout son oxigène à l'étain de la seconde, et la fusion livre le cuivre pur. Ce procédé a tenu momentanément lieu à la France de mines de cuivre, et a été employé par quantité de fabricans qui n'en ont témoigné aucun gré à l'auteur.

M. de Fourcroy a fait des recherches immenses sur les combinaisons salines; son histoire de l'acide sulfureux et des sels qu'il produit, est un ouvrage d'une grande patience et qui remplit une lacune importante dans la chimie. Il a apprécié avec sagacité ce qui se passe quand on précipite les sels de magnésie ou de mercure par l'ammoniaque, et la nature des sels à base double qu'on obtient par ces opérations. Le

degré d'oxigénation du mercure et du fer dans leurs différens sels, ont aussi été l'objet de ses expériences; il a repris deux fois ses recherches sur le mercure, qu'il a terminées en 1804 avec l'aide de M. Thénard.

Ces sortes de travaux semblent n'exiger que de l'assiduité; mais comme la science chimique en a un besoin indispensable pour devenir complète, on doit de la reconnaissance à ceux qui ont le courage de les entreprendre.

M. de Fourcroy portait cet esprit d'ensemble et ce desir de compléter chaque genre de recherches dans tout ce dont il s'occupait. Le ministère lui ayant donné à examiner une nouvelle espèce de quinquina apportée de Saint-Domingue, il en fit une analyse si détaillée, il y appliqua des moyens si nouveaux, que ce travail devint un modèle pour la chimie végétale. M. Vauquelin, M. de Saussure, M. Thénard, ont porté, depuis, cette branche de la science beaucoup plus loin; mais M. de Fourcroy leur avait servi de guide, comme Rouelle et Bucquet lui en avaient servi à lui-même; et il a pris part aussi vers la fin de sa vie à plusieurs analyses dans ce genre perfectionné, telles que celles des céréales et des légumineuses, qui a jeté beaucoup de lumière sur la théorie de la germination, celle du blé carié, celle du suc d'oignon remarquable sur-tout par la manne qui se forme dans sa fermentation.

Il est un des premiers qui ait reconnu dans les végétaux cette substance appelée *albumine,* qui fait la base du blanc d'œuf, et dont le caractère est de se coaguler dans l'eau bouillante.

L'on admettait avant lui, dans ce même règne, un principe que l'on nommait *arome,* et dont on dérivait les odeurs des

diverses parties des plantes. Il a montré que les corps n'agissent sur l'odorat que par leur propre substance volatilisée.

On regardait comme des acides particuliers ceux que l'on obtient de la distillation du bois et des gommes. MM. de Fourcroy et Vauquelin ont prouvé qu'ils ne sont que de l'acide acéteux altéré par un mélange d'huile, et cette découverte a permis de substituer avec beaucoup d'économie ces acides au vinaigre dans une foule d'emplois.

L'un des phénomènes les plus compliqués de la chimie est la formation de l'éther ou de cette substance éminemment volatile, qui résulte de l'action de l'acide sulfurique concentré sur l'alcool. M. de Fourcroy s'en est occupé après beaucoup d'autres, et sa théorie est encore celle qui paraît la plus vraisemblable; il a constaté que l'avidité de l'acide pour l'eau contraint en quelque sorte les élémens de l'eau à se combiner, et de ce fait une fois prouvé, il a deduit tous les phénomènes ultérieurs.

Mais de toutes les recherches qui ont occupé M. de Fourcroy, celles qui ont été les plus fécondes et qui lui donneront la plus longue célébrité, ce sont ses recherches sur les substances animales. Il y attachait une importance toute particulière, parce qu'elles lui paraissaient devoir lier plus intimement la chimie à la médecine, et il les considérait comme un des devoirs de sa chaire à la Faculté.

Sa détermination de la quantité d'azote extraite par l'acide nitrique de chaque substance animale, quantité d'autant plus considérable que ces substances sont plus animalisées, a achevé de constater la nature de l'animalisation.

Il a contribué plus qu'aucun de ses contemporains à fixer les caractères des principes immédiats du corps animal; de cette fibrine dépositaire des forces motrices; de cette ma-

tière médullaire plus merveilleuse encore qui transmet les sensations et la volonté; de cette gélatine qui, dans ses diverses formes, a pour fonction générale de retenir ensemble tous les élémens du corps. Diverses humeurs particulières, comme le mucus des narines, les larmes, le chyle, le lait, la bile, le sang, l'eau des hydropiques ont été l'objet de ses analyses; il a examiné le tartre des dents, il n'est pas jusqu'à la composition chimique des os qui n'ait reçu un jour nouveau de ses recherches; il y a découvert le phosphate de magnésie que personne n'y avait trouvé avant lui.

L'un des faits les plus curieux qu'il ait découverts, fut celui que lui offrit en 1786 le cimetière des Innocens. Le Gouvernement ayant résolu de supprimer ce foyer d'infection, qui, depuis un grand nombre de siècles, recevait les corps de la partie la plus peuplée de la capitale, défendit non-seulement d'y enterrer, mais ordonna de transférer ailleurs les corps qui y étaient déposés, opération dangereuse qui fut exécutée avec autant d'habileté que de courage par MM. Thouret et de Fourcroy. Une grande partie de ces corps se trouva transformée en une substance blanche, grasse et combustible, semblable, pour l'essentiel, à celle que l'on nomme blanc de baleine, et qui se tire de la tête du cachalot. L'examen approfondi des circonstances, le rapprochement de quelques faits analogues montra que cette métamorphose a lieu pour toutes les matières animales préservées du contact de l'air dans des lieux humides, et l'on assure que l'on a tiré parti de cette découverte en Angleterre pour convertir en matière bonne à brûler les chairs des animaux que l'on ne mange pas, tant il est vrai qu'il n'est pas une de nos observations en apparence les plus indifférentes qui ne puisse devenir utile à la société.

Cependant M. de Fourcroy estimait ses découvertes sur les calculs urinaires et sur les divers bezoards, plus que toutes les autres, parce qu'il en prévoyait une application plus immédiate au bien public.

On ne connaissait avant lui qu'une sorte de calcul dans la vessie, dont la nature acide avait été déterminée par l'illustre Schéele; M. de Fourcroy entrevit vers 1798, d'après certaines expériences de M. Pearson, chimiste anglais, qu'il pouvait y en avoir plusieurs espèces; que quelques-unes même ne seraient peut-être pas indissolubles. Il annonça aussitôt ses idées, et invita les médecins à lui envoyer les calculs dont ils pourraient disposer. Plus de cinq cents lui furent adressés. Il les examina et les compara aux calculs des animaux, aux bezoards et aux autres concrétions. Les calculs de la vessie lui offrirent cinq combinaisons différentes et il en trouva sept autres dans les différentes concrétions. Non content de les faire connaître par leur analyse, il leur assigna aussi des caractères extérieurs propres à les faire distinguer au premier coup d'œil, comme les naturalistes distinguent les minéraux. Il est déja certain par ces recherches que le calcul des animaux herbivores peut se dissoudre par des injections de vinaigre affaibli, et l'on n'est pas entièrement sans espérance de produire le même effet sur quelques-uns des calculs humains.

En même temps qu'il examinait les calculs, M. de Fourcroy faisait un grand travail sur l'urine de l'homme et des animaux, dont les résultats ont été d'un égal intérêt pour la chimie, pour la médecine et pour la physiologie. Les animaux herbivores ont une urine très-différente de celle de l'homme, mais les principes de celle-ci se retrouvent jusques dans les excrémens des oiseaux.

Un résultat non moins piquant pour la physiologie a été la ressemblance de composition observée par M. de Fourcroy entre le sperme de certains animaux et la poussière fécondante de quelques plantes.

Telle est une légère esquisse de l'immense recueil de faits et d'expériences dont M. de Fourcroy a enrichi la chimie; s'il n'a pas eu le bonheur d'attacher son nom à quelqu'une de ces grandes vérités générales qui donnent une gloire populaire, il l'a inscrit en tant d'endroits et à tant d'articles particuliers que les savans seront toujours obligés de le citer parmi ceux des savans les plus dignes de la reconnaissance publique.

Dans un grand nombre de ces travaux, le nom de M. de Fourcroy est associé, comme on vient de l'entendre, à celui de M. Vauquelin, son élève et son ami; et l'envie a cru gagner beaucoup en se prévalant de cette association pour contester au premier de ces deux chimistes la meilleure partie de leurs découvertes communes; comme si d'avoir engagé un homme tel que M. Vauquelin à des recherches qui ont été si heureuses, n'était pas pour la science un service au moins équivalent à quelques expériences de plus. Qu'il nous soit du moins permis de voir dans la noble constance que M. Vauquelin a mise à travailler avec son maître, une preuve des sentimens que M. de Fourcroy savait inspirer, et de croire que l'homme qui a su choisir si bien son ami et le garder si long-temps méritait d'être aimé.

On a besoin de faire de telles remarques, dans ce temps où de longues discordes ont laissé tant de haines et où quiconque a joui d'une parcelle de pouvoir, a été en butte à des outrages publics.

M. de Fourcroy devait être plus exposé que personne à ce malheur, à cause du moment où il fut appelé aux places

supérieures, et à cause de l'espèce irritable d'hommes avec qui ses fonctions l'ont mis le plus en rapport.

A cette époque où une nation entière s'avisant subitement de se trouver malheureuse, imagina de faire sur elle-même toutes les sortes d'expériences, lorsque l'on essaya tour-à-tour de tous les hommes qui avaient de la célébrité dans quelque genre que ce fût, il était presque impossible qu'il échappât aux choix populaires.

Nommé suppléant à la Convention nationale, il n'y entra comme député que vers l'automne de 1793, c'est-à-dire, au moment où elle gémissait et faisait gémir la France sous la tyrannie la plus terrible.

D'après ce que nous venons de rapporter de sa vie, il est aisé de juger avec qu'elles dispositions il y arrivait.

A cette ignorance presque absolue du monde et des affaires, apanage ordinaire des savans de cabinet, se joignait en lui une aigreur bien pardonnable contre un ordre de chose dont il n'avait éprouvé long-temps que des injustices. Sa facilité à exposer avec élégance ces vérités générales contre lesquelles aucun intérêt n'indispose, devait lui paraître au moins bien voisine de cette éloquence persuasive qui maîtrise à son gré tous les penchans du cœur. Que de sagesse il fallait pour se taire, avec des tentations si fortes pour parler! M. de Fourcroy eut cette sagesse. Malgré les reproches publics qu'on lui en fit, il ne monta point à la tribune tant que l'on ne put y paraître sans crainte ou sans déshonneur, et il se renferma dans quelques détails obscurs d'administration, se contentant, pour récompense, d'obtenir la grace de quelques victimes. Darcet, l'un de nos confrères, lui a dû la vie, et l'a appris d'un autre long-temps après; il fit appeler près de la Convention des savans respectables, que la faux révolutionnaire

aurait atteints par-tout ailleurs. Enfin, menacé lui-même, il lui devint impossible de servir personne, et des hommes affreux n'ont pas eu honte de travestir son impuissance en crime.

Peut-être me blâme-t-on de rappeler ces tristes souvenirs ; mais quand un homme célèbre a eu le malheur d'être accusé comme M. de Fourcroy, lorsque cette accusation a fait le tourment de sa vie, ce serait en vain que son historien essaierait de la faire oublier en gardant le silence.

Nous devons même le dire, si dans les sévères recherches que nous avons faites, nous avions trouvé la moindre preuve d'une si horrible atrocité, aucune puissance humaine ne nous aurait contraint de souiller notre bouche de son éloge, d'en faire retentir les voûtes de ce temple, qui ne doit pas être moins celui de l'honneur que celui du génie.

M. de Fourcroy ne commença à prendre de l'influence que plusieurs mois après le 9 thermidor, lorsque les esprits furent lassés de destruction, et dans cette longue suite de travaux qui ont relevé l'ordre social, on le voit dès les premiers momens occupé de l'instruction publique, et s'empressant toujours de faire suivre à sa restauration des progrès parallèles à ceux qu'il observait dans les idées dominantes.

On croirait en effet, d'après la gradation de ses discours et des lois qu'il a proposées, qu'il portait dans la politique la même flexibilité d'esprit que nous venons de lui voir dans les sciences, et la série de ses rapports et de ses actes aura pour l'histoire de l'opinion publique, dans la seconde moitié de la révolution, un genre d'intérêt tout-à-fait comparable à celle de ses autres ouvrages pour l'histoire de la chimie.

Je suis encore obligé de faire ici une longue énumération de travaux particuliers, mais j'ai au moins autant de raisons d'espérer de l'indulgence. Il ne s'agit plus seulement de dé-

couvertes isolées, mais d'institutions qui, en assurant la conservation des sciences, en multiplieront à l'infini les progrès. Ce n'est plus un simple expérimentateur maître de ses matières et de ses instrumens ; c'est un homme obligé de lutter contre tous les genres d'obstacles, et de faire du bien à ses concitoyens, en grande partie malgré eux.

La Convention avait détruit les Académies, les Colléges, les Universités ; personne n'eût osé en demander d'emblée le rétablissement; mais bientôt les effets de leur suppression se marquèrent par l'endroit le plus sensible ; les armées vinrent à manquer de médecins et de chirurgiens, et l'on ne pouvait en refaire sans écoles. Qui croirait cependant qu'il fallut du temps pour qu'on eût la hardiesse de les appeler *écoles de médecine ? Médecin, chirurgien,* étaient des titres trop contraires à l'égalité, apparemment parce qu'il n'y a point de supériorité plus nécessaire que celle du médecin sur le malade ; on employa donc le mot bizarre d'écoles de santé, et il ne fut question pour les élèves ni d'examen ni de diplômes. Toutefois un esprit clairvoyant ne laisse pas que d'apercevoir dans les réglemens qui furent portés, les intentions de celui qui les rédigea. Les trois grandes écoles fondées à cette époque reçurent une abondance de moyens dont on n'avait eu jusqu'alors aucune idée en France, et qui font encore aujourd'hui le plus bel ornement de l'Université.

L'expérience apprit bientôt aussi que le courage ne suffit pas à la guerre sans l'instruction, et que la science militaire est un poids considérable dans la balance des succès ; on voulut que les écoles de l'artillerie, du génie et de la marine, reçussent des sujets préparés par l'étude des mathématiques et de la physique, et l'on vit naître cette École polytechnique

dont le plan primitif, dépassant de beaucoup le but, sembla destiné à rendre les hautes sciences, pour ainsi dire, aussi communes que l'avaient été jusques-là les connaissances les plus élémentaires.

La conception des Ecoles centrales n'était pas moins grande dans son genre : peut-être l'était-elle trop. Il ne s'agissait de rien moins que d'établir une sorte d'Université dans chaque département, à laquelle la jeunesse devait être préparée par des écoles inférieures placées dans chaque district ; mais, comme il n'arrive que trop souvent dans notre nation, ce projet ne fut exécuté qu'à demi. Il a toujours manqué aux Écoles centrales ces écoles préparatoires : on n'a jamais placé auprès d'elles les pensionnats qui entraient essentiellement dans leur plan. Ce qui leur a été plus funeste encore, on n'a pu leur fournir assez de bons maîtres, à une époque où il en avait tant péri, et où l'esprit de parti ne permettait pas même d'employer tous ceux qui restaient.

Une École normale placée à Paris devait former ces maîtres dont on avait un si grand besoin ; mais dans les temps orageux qui terminèrent le règne de la Convention, l'on ne put donner qu'une existence éphémère à une institution qui aurait exigé plus qu'aucune autre une longue durée pour produire de l'effet.

M. de Fourcroy, soit comme membre du comité d'instruction publique de la Convention nationale, soit comme membre du Conseil des Anciens, a pris une part plus ou moins active à toutes ces créations, et a fait dans ces deux assemblées une grande partie des rapports qui ont déterminé à les adopter.

Nous devons nous souvenir aussi que M. de Fourcroy n'a pas été étranger à la formation de l'Institut qui, dans son plan

primitif, devait à-la-fois travailler aux progrès des sciences, et régler la marche de l'enseignement public, en sorte que les lumières se seraient propagées par les mêmes hommes qui les auraient fait naître ; idée admirable, si une compagnie nombreuse, et sur-tout une compagnie studieuse, pouvait s'occuper des détails infinis qu'exige toute branche d'administration.

M. de Fourcroy avait eu enfin une grande influence, soit comme professeur, soit comme député, sur la rédaction de la loi qui a fait du Muséum d'Histoire naturelle le plus magnifique établissement que les sciences aient possédé.

Toutes ces institutions portent un caractère de grandeur et de générosité qui entrait essentiellement dans ses vues. Le Gouvernement, selon lui, devait l'instruction au peuple aux mêmes titres que la justice et la sûreté ; et il trouvait d'autant plus convenable d'y consacrer une partie importante du revenu de l'État, qu'une instruction très-répandue lui paraissait le moyen le plus efficace de rendre facile et le maintien de la sûreté et celui de la justice.

Nous n'ignorons pas que les ennemis de M. de Fourcroy ont pu reprendre dans quelques-uns de ses discours politiques le langage usité dans le temps où il les fit, mais c'est la faute du temps et non la sienne ; qui ne se souvient que les propositions les plus nécessaires auraient été rebutées, si on ne les eût revêtues de ce grossier idiôme ? Autant vaudrait donc blâmer ceux qui traitent avec les sauvages du Canada, de ne pas leur parler dans le même style que l'on harangue les princes de l'Europe.

M. de Fourcroy étant sorti, en 1798, du Conseil des Anciens, ses travaux législatifs furent interrompus, et il saisit ce moment pour rédiger son grand système des connaissances

chimiques, ouvrage immense, fait en dix-huit mois, et dont le manuscrit tout entier de sa main, et presque sans ratures, prouve à quel point il portait la facilité. Mais ce temps de repos ne fut pas de longue durée; nommé Conseiller d'état, à l'époque du Gouvernement consulaire, il fut bientôt chargé de reprendre les travaux qu'il avait commencés pour la restauration de l'instruction publique.

Ici les opérations de M. de Fourcroy prennent un autre caractère, et avec plus d'ensemble et de vigueur elles lui deviennent moins personnelles. Quand le prince, et un prince comme le nôtre gouverne par lui-même, lorsque le génie qui d'un signe peut ébranler la terre sait tout aussi aisément descendre jusqu'aux moindres détails de l'administration, il n'est pas aisé de faire la part des agens secondaires de l'autorité; nous pouvons dire cependant que si les vues que M. de Fourcroy avait à exécuter n'étaient plus entièrement les siennes, c'était toujours son activité qu'il mettait à les faire réussir, et ce n'est pas une gloire médiocre, lorsqu'on songe que sous sa direction, et dans le court espace de cinq années, douze Écoles de droit ont été créées, plus de trente Lycées érigés, et plus de trois cents colléges relevés ou établis.

Appelés pendant quelque temps à partager son travail, c'est pour nous un double devoir de lui rendre témoignage; car on ne peut, sans l'avoir vu, se faire une idée de ce que lui ont coûté de peines tant d'établissemens dans un pays où il fallait relever jusqu'aux édifices, recréer tous les genres de ressources, surmonter dans chaque lieu des résistances intéressées, chercher de tous côtés des maîtres et jusqu'à des élèves, tant l'exemple du passé inspirait de défiance. Aujourd'hui toutes ces institutions réunies en un seul corps, sou-

mises aux lois d'une discipline commune, et gouvernées par un chef que la voix publique appelait, promettent des fruits plus abondans et plus vigoureux, mais l'Université impériale, dans ce moment de splendeur, ne doit pas oublier la mémoire de celui qui a semé pour elle en des temps difficiles.

Infatigable dans son cabinet comme dans son laboratoire, M. de Fourcroy passait les jours et une grande partie des nuits au travail ; il ne se reposait en entier sur aucun de ses subordonnés, et les moindres réglemens qui sortaient de ses bureaux avaient été conçus et mûris par lui-même. Il voulait connaître personnellement les meilleurs instituteurs ; et il a parcouru plusieurs parties de la France pour s'assurer des progrès des écoles, et juger de plus près des talens des maîtres.

Dans les choix qu'il avait à faire, il redoutait sur-tout de consulter l'esprit de parti, et peut-être donna-t-il quelquefois dans un autre excès, en méprisant trop des préventions qui pouvaient cependant rendre inutiles les talens de ceux qui en étaient les objets.

Mais c'est sur-tout aux élèves qui recevaient du Gouvernement le bienfait d'une éducation gratuite, que M. de Fourcroy portait toute son affection. Il semblait toujours avoir présens à la mémoire les malheurs de sa propre jeunesse, et se rappeler ce qu'il devait aux personnes qui l'avaient secouru dans ses études. Combien d'hommes éprouveront un jour pour lui un sentiment semblable, et combien de parens se joignent sans doute dès ce moment à moi, pour bénir la mémoire de celui de qui leurs enfans tiennent le plus précieux de tous les biens !

Nous avons dû retracer en détail ce que M. de Fourcroy a fait pour l'instruction publique ; car, dans cette partie de

ses travaux, le député et le conseiller-d'état était encore essentiellement membre de l'Institut. Il nous conviendrait moins de le peindre dans ses autres rapports politiques, et nous n'aurions probablement pas des notions suffisantes pour le faire avec exactitude.

Quelques-uns disent que, desirant invariablement le bien, son esprit toujours facile variait peut-être trop sur les moyens de le faire, et que l'habitude de parler avec une chaleur égale pour chacune des opinions qui s'emparaient successivement de lui, diminuait un peu l'effet naturel que son éloquence aurait dû avoir. C'est que, recherchant toujours vivement une approbation immédiate, il ne songeait point que, dans la carrière de l'ambition comme dans toutes les autres, les succès n'imposent qu'autant qu'ils ne sont point trop balancés par des échecs. Il espérait se faire pardonner une proposition hasardée, par sa complaisance à la modifier jusqu'à ce qu'on l'adoptât ; mais c'était un mauvais calcul : et la jalousie compte avec plus de soin les défaites que les victoires. Il s'aperçut à la fin que ce n'était pas d'après celles-ci que ses émules le jugeaient, et cette découverte fut pour lui un grand malheur. Toute sa vie il avait attaché à l'opinion des autres plus de prix qu'il ne convient peut-être à un savant et à un homme-d'état. Et que l'on ne croie pas que dans son besoin exagéré de ne pas déplaire, il fit acception des personnes. Un mot dit sur son compte dans le moindre cercle, un article de journal avaient le droit de l'inquiéter presque autant qu'une grande espérance trompée. Il s'affligeait même de la facilité avec laquelle de jeunes chimistes se permettaient de revenir sur ses travaux, et quelquefois de les critiquer, comme s'il eût pu espérer de trouver un Vauquelin dans chacun de ses élèves, dans un siècle où il est déja

si extraordinaire d'avoir vu un exemple d'un pareil dévouement.

Ce desir extrême d'occuper sans cesse dans l'esprit des autres une place favorable, inspirait à M. de Fourcroy des efforts qui redoublaient à mesure que le théâtre où ses talens le portaient était plus élevé, et qu'il se trouvait plus de gens intéressés à lui enlever cette jouissance. Son ardeur pour ses nouveaux devoirs ne refroidissait en rien celle qu'il portait aux anciens. Depuis plusieurs années conseiller-d'état, et chargé d'une administration compliquée, il ne faisait guère moins d'expériences, de mémoires et de leçons, que lorsque tout son temps appartenait aux sciences.

A la fin des travaux si multipliés, et que les dispositions de son caractère mêlaient de tant de soucis, attaquèrent son organisation. Des palpitations, sur lesquelles un médecin ne pouvait se méprendre, lui annoncèrent son sort. Il le prévit avec plus de calme qu'il n'avait supporté les contrariétés de sa double existence. A voir son assiduité au travail, à l'entendre parler, personne ne l'aurait cru malade; lui seul ne fut pas trompé un instant. Pendant près de deux années, il s'attendit, pour ainsi dire, chaque jour au coup fatal. Saisi enfin d'une atteinte subite au moment où il signait quelques dépêches, il s'écria : *Je suis mort*, et il l'était en effet.

C'était le 16 décembre 1809, le matin d'une fête de famille. Ses parens, avec qui il vivait dans l'union la plus tendre, avaient coutume de célébrer cette époque par les hommages de l'amitié : plusieurs des nombreux personnages qu'il s'était attachés par son empressement à rendre service, la saisissaient pour lui marquer leur reconnaissance. De toutes parts on accourait la gaîté sur le visage; chacun apportait quelques fleurs, quelque présent, et ne trouvait que ce corps inanimé

et une famille dans l'effroi; triste réunion préparée pour la joie, qui ne fit que rendre plus affreuse cette scène de désespoir; et comme si tout ce qui pouvait lui arriver d'heureux avait dû se tourner en douleur, une preuve éclatante de la satisfaction de son maître, précieux témoignage long-temps desiré, et qui eût peut-être prolongé ses jours s'il avait osé le prévoir, n'arriva que pour être déposée sur sa tombe.

C'est ainsi que les hommes les plus actifs sont trop souvent arrêtés au milieu de leur carrière : heureux du moins ceux dont il peut rester quelques vérités nouvelles, quelques établissemens utiles, le souvenir de quelque bien fait à leurs contemporains. M. de Fourcroy a laissé dans un haut degré ces trois genres de monumens; les fastes de la science sont remplis de ses recherches; l'Empire est couvert des institutions qu'il a aidé à relever; un concours immense d'hommes qu'il avait obligés a rendu ses funérailles aussi touchantes que pompeuses, et dans ce long temps où il a joui du pouvoir, en butte à tant de calomnies, fatigué par tant de contrariétés, ce serait en vain que l'on chercherait même parmi ses ennemis les plus acharnés, quelqu'un à qui il aurait fait du mal.

M. de Fourcroy laisse de son premier mariage avec mademoiselle Bettinger, M. le comte de Fourcroy, officier d'artillerie (*), et madame Foucaud. Son second mariage avec Mme Belleville, veuve de Wailly, ne lui a point donné d'enfans.

Les places qu'il occupait dans nos établissemens scientifiques ont été remplies par les plus dignes de ses élèves. M. Thénard lui a succédé à l'Institut; M. Laugier au Muséum d'Histoire Naturelle; M. Gay-Lussac à l'Ecole Polytechnique. Sa chaire à la Faculté de Médecine est encore vacante (**).

(*) Tué en Saxe pendant la campagne de 1813.

(**) Elle a depuis été donnée à M. Vauquelin.

MÉMOIRES

DE LA CLASSE

DES SCIENCES

MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES.

CONSIDÉRATIONS

SUR LA GRAINE ET LA GERMINATION,

Par M. MIRBEL,

Contenant le résumé de différens Mémoires que l'auteur a lus à la Classe, depuis 1808 *jusqu'en* 1812 (*).

AVANT-PROPOS.

La solidité ou la faiblesse de certaines opinions paraît souvent davantage quand elles sont réunies en corps de doctrine, que quand elles sont présentées isolément : c'est

---

(*) Ces *Considérations* devaient paraître en 1810; mais l'impression des Mémoires de la Classe ayant éprouvé des retards, j'en ai profité pour multiplier mes recherches, et corriger quelques erreurs. Ce n'est qu'en 1812 que j'ai complètement terminé ma rédaction.

pourquoi je veux donner ici l'ensemble de mes idées sur la graine et sur la germination. Les botanistes qui ont étudié la Physiologie végétale, verront jusqu'à quel point elles sont incomplètes ou fautives.

Bien s'en faut que tout ce que je vais dire m'appartienne. Dans un travail de cette nature, j'ai dû m'aider des découvertes des Malpighi, des Duhamel, des Gærtner, des Desfontaines, des Jussieu, des Humboldt, des Théodore de Saussure, des Sprengel, des Vaucher, etc. Comme j'ai étudié soigneusement la structure de la graine et les phénomènes de la germination, et que j'ai publié successivement plusieurs Mémoires sur cette matière, j'ai pensé qu'il pouvait être utile de faire concourir mes propres observations à l'établissement d'une théorie générale. Elle est sans doute encore très-imparfaite, mais avec le temps, de plus habiles la perfectionneront; et moi-même, autant qu'il sera en mon pouvoir, je m'appliquerai à la rendre moins défectueuse.

DE LA GRAINE.

La plupart des plantes qui couvrent le globe proviennent de *graines:* c'est donc par l'examen de cet œuf végétal, que je dois commencer l'histoire des phénomènes anatomiques et physiologiques des plantes.

En ne considérant dans une graine que les caractères essentiels, communs à toutes, on voit qu'elle offre constamment un petit corps organisé, formé dans un *ovaire,* cavité close à la paroi de laquelle il adhère durant un temps plus ou moins long, par des *vaisseaux ombilicaux,* qui se rendent en un lieu déterminé que l'on a nommé *hile* ou *ombilic;* que ce petit corps a toujours, au moins, deux points fixes de

développement, et qu'il réunit en lui, toutes les conditions nécessaires pour reproduire une plante semblable à celle dont il est issu, dès que les circonstances extérieures favoriseront sa croissance.

Linné a posé en principe, que la fécondation est indispensable à la formation d'une graine; cependant, comme les caractères distinctifs d'un être se doivent tirer de lui-même, et non de quelques circonstances hors de lui, telles, par exemple, que les causes qui ont amené son développement, s'il naît de plantes privées d'organes sexuels, des corps reproducteurs que nous ne puissions distinguer des graines par aucun caractère organique, pour nous ces corps seront des graines, encore qu'ils se soient formés sans fécondation.

On distingue dans la plupart des graines les *enveloppes séminales* et l'*amande*.

Enveloppes séminales.

Les enveloppes qui accompagnent la graine après sa maturité parfaite et garantissent l'embryon de la sécheresse, de l'humidité, et même quelquefois, de la voracité des animaux, sont de diverses natures, ont une différente origine, et varient en nombre selon les espèces. Je les divise en deux classes : les *tégumens auxiliaires*, et les *tégumens propres* ou *tuniques séminales;* mais je dois avouer que cette division est arbitraire en beaucoup de points, et je ne la propose que comme un moyen de mettre plus d'ordre dans nos études. Il n'est pas au pouvoir du naturaliste de séparer nettement ce que la Nature a laissé dans le vague (*).

(*) En histoire naturelle, on ne peut arriver à une terminologie rigou-

Le périanthe tout entier dans les oseilles, et sa base seulement dans la belle-de-nuit, recouvre l'ovaire et la graine. Une cupule, espèce de bractée creuse, d'une seule pièce, renferme exactement la fleur femelle des CONIFÈRES, et devient l'enveloppe séminale extérieure (*). Les graines des GRAMINÉES ont, pour enveloppe extérieure, l'ovaire transformé en péricarpe. Les graines de plusieurs espèces d'arbres à fleurs rosacées, tels que le cerisier, le pêcher, l'abricotier, sont renfermées dans un noyau, lame interne du péricarpe plus ou moins épaisse, qui acquiert de la solidité en mûrissant et s'isole de la partie charnue.

Les cupules, les périanthes, les ovaires qui forment ces diverses enveloppes, existaient long-temps avant que la graine ne fût développée; ils faisaient alors partie essentielle ou accessoire de la fleur, et chacun remplissant des fonctions déterminées, avait déja reçu un nom particulier: ce ne sont donc point les tégumens propres de la graine, mais seulement ses tégumens auxiliaires.

Il y a d'autres enveloppes séminales, que je nomme *tégumens* ou *tuniques propres* de la graine, parce qu'elles croissent avec les *ovules*, et qu'en général, elles ne sont bien apparentes et distinctes qu'après que l'ovaire s'est transformé en

---

reuse qu'en donnant des définitions arbitraires des choses, parce qu'alors tout prend un air symétrique et régulier ; mais, attendu que cette symétrie et cette régularité ne sont point dans la nature, les vouloir obtenir, c'est perdre de vue le principal but que nous nous proposons dans l'étude de l'histoire naturelle, qui est la connaissance exacte des faits. Défions-nous donc de ceux qui prétendent avoir tout bien défini et bien nommé.

(*) *Voyez le Bulletin de la Société Philomathique* pour avril et mai 1812.

fruit. Ce sont l'*arille*, le *testa* et le *tegmen*. On rencontre bien rarement à-la-fois, ces trois tégumens dans une seule espèce de graine.

Lorsque, par la suite, je traiterai du fruit, je dirai ce que j'entends par les enveloppes auxiliaires; pour le moment, il suffit que j'en indique l'origine, mais je dois donner des notions plus étendues sur les tuniques, parce qu'elles sont censées faire partie de la graine.

Avant d'entrer en matière, il est à propos que je prévienne que les limites entre les trois espèces de tuniques sont souvent indécises. L'essentiel ici consiste donc à bien décrire les objets. Quant à la classification et à la nomenclature, comme elles n'ont pour base que des définitions plus ou moins conventionnelles, nous ne devons pas y attacher une grande importance.

Arille.

L'arille est une tunique extérieure, membraneuse ou charnue, qui, ordinairement, se détache de la graine mûre en entier ou en partie. Cette définition est insuffisante pour faire reconnaître, dans tous les cas, le tégument que les botanistes nomme *arille;* mais il serait difficile de définir avec rigueur, une partie aussi variable dans sa manière d'être, et dont, au reste, les fonctions sont ignorées. Pour donner quelque idée de cet organe, des exemples vaudront mieux qu'une définition abstraite.

Dans le muscadier, l'arille ou *macis* des droguistes, est une lame d'un rouge citron, épaisse, charnue, découpée en lanières qui s'appliquent sur la graine, mais ne la recouvrent qu'imparfaitement. Dans le *ravenala*, l'arille est une mem-

brane frangée d'un beau bleu de ciel et d'un toucher gras : elle cache la graine toute entière. Dans le *fusain* à larges feuilles, l'arille est rouge, pulpeux, fermé de toutes parts. Dans le fusain galeux, l'arille est également rouge et pulpeux; mais il s'ouvre et s'évase en cupule irrégulière. Dans l'*oxalis*, l'arille est mince, blanchâtre, élastique; il se crève quand la graine est mûre, et la lance au dehors par l'effet d'une force contractile. Dans le *pistia*, l'arille est fongueux, épais, en forme de baril, et percé à sa partie supérieure. Dans la plupart des MÉLIACÉES, l'arille est une membrane charnue qui, ne pouvant s'étendre autant que la graine, se déchire toujours en quelques points de sa superficie.

Plusieurs botanistes pensent que l'arille appartient plutôt au péricarpe qu'à la graine, parce, disent-ils, que cette enveloppe est une expansion du tissu ombilical; mais il serait difficile de démontrer que le tegmen et le testa ne sont pas aussi des expansions de ce tissu.

Testa.

Le *testa*, qui forme un sac sans valve ni suture et recouvre constamment le tegmen, est la seconde tunique de la graine quand il y a un arille, et la première quand l'arille manque, ce qui est le cas le plus ordinaire.

Quoique le nom de *testa* indique en général, une enveloppe comparable pour la consistance à la coquille de l'œuf ou à l'écaille de l'huître, il se rencontre des graines dans lesquelles cette tunique est d'une substance fongueuse ou charnue, ou même pulpeuse. On distingue souvent dans un testa, plusieurs lames de différentes natures, que l'on a prises quelquefois pour autant d'enveloppes séminales; mais en y regar-

dant de près, on voit ordinairement qu'on ne peut enlever ces lames sans occasionner une rupture dans le tissu.

Les vaisseaux ombilicaux pénètrent dans le testa par un trou qui est l'*ombilic externe*, lequel ne correspond pas toujours exactement à l'*ombilic interne*. Quand ce défaut de correspondance a lieu, les vaisseaux ombilicaux courent dans l'épaisseur du testa, et percent sa surface interne à l'endroit où ils doivent s'attacher au tegmen. Cela se montre clairement dans le nénuphar; mais comme il arrive d'ordinaire que cette organisation est très-obscure, on confond, dans les descriptions, l'ombilic externe et l'ombilic interne.

Nous ne trouvons aucun caractère pour distinguer nettement, en toute circonstance, le testa des noyaux et nucules, enveloppes auxiliaires des graines, formées par la paroi interne des loges du péricarpe. Nous sommes souvent dans un semblable embarras quand nous voulons tirer une ligne de démarcation entre le testa et le tegmen. Ceux qui proposent, à cet égard, des règles fixes et invariables, négligeant une multitude de faits qu'ils ne peuvent classer, éludent la difficulté au lieu de la résoudre.

Un petit trou, le *micropyle* de Turpin, paraît à la superficie du testa dans un grand nombre d'espèces, et perce sa paroi d'outre en outre. Le micropyle des LÉGUMINEUSES, des nénuphars, du marronnier d'Inde, est très-apparent.

On remarque encore, sur certains testas, des *caroncules*, renflemens pulpeux ou charnus qui sont produits par la dilatation du tissu cellulaire. Ils se dessèchent quand la graine est mûre. Comme les caroncules sont souvent placés au voisinage de l'ombilic (*sterculia balangas*), et que même quelquefois ils adhèrent au cordon ombilical (*bocconia fru-*

tescens), il n'est pas facile de dire en quoi ils diffèrent essentiellement des arilles, et sur-tout de certains qui s'évanouissent par la dessiccation des graines; car ceux-ci ont évidemment une adhérence cellulaire avec le testa.

Tegmen.

Le *tegmen* est appliqué immédiatement sur l'amande; il est continu dans toutes ses parties, et n'a, de même que le testa, ni valves ni sutures. Il reçoit en un endroit déterminé, nommé *hile* ou *ombilic,* l'extrémité du cordon ombilical, ou, pour mieux dire, il est lui-même, le terme de l'épanouissement de ce cordon.

D'après cette définition, vous jugerez que le tegmen ne peut manquer que lorsque la graine est absolument dépourvue de tuniques propres, car s'il en existe une seule, cette tunique, portant le hile, recevant l'extrémité du cordon ombilical, et recouvrant l'amande sans intermédiaire, est évidemment le tegmen; et s'il y en a plusieurs, l'enveloppe interne, ayant les caractères que je viens d'énoncer, est encore le tegmen.

Ordinairement, quand il n'y a pas de testa, le tegmen paraît comme une lame cellulaire très-mince, tantôt blanchâtre, tantôt colorée. Il en est de même encore quand il existe un testa qui n'a d'adhérence avec les parties internes qu'au point de l'ombilic; mais le plus souvent le testa et le tegmen, soudés l'un à l'autre, ne semblent être qu'une seule tunique, et il est impossible alors de marquer la limite des deux enveloppes. Aussi, pour éviter toute équivoque, il convient, dans la botanique descriptive, de n'admettre pour enveloppes distinctes que le nombre de lames que l'on peut

isoler sans lésion du tissu, et de désigner sous l'unique nom de *tegmen,* cette enveloppe et le testa quand ils sont réunis, en ayant soin d'indiquer par quelque épithète convenable la composition de ce double tégument.

Dans le ricin, le nénuphar, les HYDROCHARIDÉES, etc., le testa et le tegmen sont naturellement séparés; dans les LÉGUMINEUSES, le bananier, l'asperge, etc., ces deux enveloppes n'en font qu'une.

Les vaisseaux de la plante-mère, qui pénètrent par l'ombilic, se prolongent quelquefois dans l'épaisseur du tegmen, et forment à sa superficie, la *chalaze* de Gærtner. La chalaze se compose: 1°, de la *trace,* ligne en relief, qui naît immédiatement de l'ombilic, et 2°, de l'*aréole* qui est l'extrémité plus ou moins épanouie de la trace. Dans les LABIÉES, la trace est courte, et l'aréole est un tubercule incolore. Dans les AURANTIACÉES, la trace s'alonge d'un bout du tegmen à l'autre, et l'aréole, qui est située fort loin de l'ombilic, se divise en patte d'oie, ou bien s'élargit en cupule colorée. Dans les GRAMINÉES, où le tegmen et la paroi du péricarpe sont d'ordinaire étroitement unis, on aperçoit la chalaze à travers les membranes transparentes, tantôt comme une ligne au fond d'un sillon longitudinal (blé, orge, etc.), tantôt comme une simple tache à la base du fruit (maïs, *holcus,* etc.).

La chalaze sert probablement à porter les sucs nourriciers vers différents points de la graine.

A la surface de quelques graines (asperge, *commelina, tradescantia, canna,* etc.), on remarque un renflement en forme de calotte, situé à une distance quelconque de l'ombilic; c'est l'*embryotége* : il correspond à la radicule. Pendant la germination il se détache et ouvre une issue par laquelle l'embryon s'échappe.

Amande.

Sous le tegmen est l'amande, laquelle est constituée souvent par l'embryon seul, et plus souvent encore par l'embryon et le périsperme. L'amande est la partie essentielle de la graine. Il n'existe point de graine sans amande, mais il en existe sans arille, sans testa, et même sans tegmen. Elles ne sont revêtues alors que d'enveloppes accessoires : telles sont les graines des NYCTAGINÉES, des CONIFÈRES, de l'*avicennia*, etc. Dans ces végétaux l'amande porte l'ombilic.

Périsperme.

Le périsperme, tissu cellulaire dont les mailles sont remplies d'une matière inorganisée, accompagne toujours l'embryon, mais s'en distingue par sa composition et son aspect, ne communique avec lui par aucune ramification vasculaire, et lui fournit pendant la germination une nourriture comparable, sous beaucoup de rapports, à celle que le poulet tire du *vitellus*, partie de l'œuf vulgairement connue sous le nom de *jaune*.

Que les vaisseaux du cordon ombilical traversent le tegmen et pénètrent dans le périsperme, c'est ce qui n'est pas tout-à-fait sans exemple, témoins le *fissilia* et le *heisteria*.

Il y a quelquefois entre le tegmen et le périsperme une continuité de tissu qui peut faire naître des doutes sur l'existence bien distincte du tegmen dans quelques graines : (Voyez le *rivinia*). A la vérité plusieurs auteurs modernes se croient en droit de conclure de ce qu'ils trouvent un tegmen dans des espèces très-voisines d'autres espèces où ils ne peuvent apercevoir cette tunique séminale, qu'elle

existe dans celles-ci comme dans les autres; mais cette manière de raisonner par analogie, n'est jamais sûre quand la nécessité de la coexistence des organes n'est pas suffisamment démontrée; or, il s'en faut bien qu'il soit démontré qu'un tegmen soit indispensable à l'existence d'une graine.

Dans les LABIÉES et dans beaucoup de LÉGUMINEUSES, dans les ROSACÉES, les MÉLIACÉES, les THYMÉLÉES, etc., le périsperme est si mince, qu'on l'a pris long-temps pour une tunique séminale. Toutefois, comme les graines de ces végétaux ont un tegmen et que les vaisseaux ombilicaux s'y arrêtent, il est difficile aujourd'hui de ne pas reconnaître que ces graines sont périspermées.

Le périsperme est farineux dans les GRAMINÉES, les NYCTAGINÉES, etc.; oléagineux et charnu dans les EUPHORBIACÉES, etc.; élastique et dur comme de la corne dans les PALMIERS, les RUBIACÉES, etc.

Aucune plante connue, appartenant à la famille des OMBELLIFÈRES, des RENONCULACÉES, des GRAMINÉES, n'est privée de périsperme; au contraire, ce corps ne s'est jamais offert dans la famille des vraies AURANTIACÉES, des CRUCIFÈRES, des ALISMACÉES, etc.; et il y a des familles, telles que celles des BORRAGINÉES, des LÉGUMINEUSES, où il s'amincit en passant d'une espèce à une autre, et finit par s'évanouir totalement.

Embryon.

L'embryon se forme dans les enveloppes séminales propres ou auxiliaires, et il a d'abord avec elles une communication organique. Arrivé à maturité, il se détache des parties qui l'environnent et jouit de la force vitale nécessaire à son développement. Il comprend dans sa masse, le *blastème* et le *corps cotylédonaire.*

Le blastême a deux germes principaux, bien distincts : la *radicule* et la *plumule*, fixées base à base par une partie intermédiaire, nommée *collet.* Ces deux germes ne diffèrent pas moins par leur nature que par leur situation, la radicule éprouvant le besoin de l'ombre et de l'humidité, et la plumule, de l'air et de la lumière, dès que l'une et l'autre commencent à se développer, sans que rien alors puisse intervertir cette tendance naturelle.

Le corps cotylédonaire offre un ou plusieurs *cotylédons,* appendices minces ou charnus, selon que l'amande a ou n'a pas de périsperme, qui naissent du collet et ont de l'analogie avec les feuilles.

Beaucoup de naturalistes ont pensé, et le grand Linné est de ce nombre, qu'un embryon, à quelque classe d'êtres qu'il appartienne, ne peut recevoir l'impulsion vitale que par voie de fécondation; mais l'école moderne n'admet pas cette doctrine dans toute sa rigueur. Il se rencontre aussi des botanistes qui sont d'avis que c'est trop circonscrire l'idée qu'on doit se faire d'un embryon végétal, que de vouloir qu'il ait nécessairement des cotylédons, une radicule et une plumule, ce qui exclurait des végétaux doués de ce moyen de reproduction, les CONFERVES, les ALGUES, les LICHENS, les CHAMPIGNONS et autres plantes d'une structure très-simple, lesquelles produisent souvent, dans des espèces d'ovaires, des corps comparables aux graines, par la propriété qu'ils ont de former, en se développant, de nouvelles plantes tout-à-fait semblables à celles dont ils sont sortis. Mais ce n'est pas le lieu d'examiner cette question; j'y reviendrai par la suite; pour le moment je m'en tiens à l'analyse des embryons des PHÉNOGAMES.

Lorsque la radicule et la plumule ont leurs bases à-peu-près contiguës, le collet n'occupant qu'un très-petit espace, est à peine visible ; mais lorsque la radicule et la plumule sont éloignées, le collet devient une partie intermédiaire très-apparente, dont la forme varie selon les espèces. Néanmoins, il est très-difficile d'assigner nettement la limite du collet d'un embryon quelconque, tant que la germination n'a pas eu lieu; aussi, dans la botanique descriptive, le collet est-il confondu avec la radicule, et je n'essayerais pas de l'en distinguer, si je n'avais à présenter qu'une simple nomenclature technique ; mais, comme je dois parler bientôt des développemens, je ne pourrais me faire entendre, si je n'indiquais d'abord, le collet comme une partie distincte.

La radicule est la racine dans la graine, et son caractère essentiel consiste en ce qu'elle reçoit l'extrémité inférieure de tout le système vasculaire de l'embryon. Cette extrémité se divise quelquefois en plusieurs mamelons. Beaucoup de GRAMINÉES en ont jusqu'à cinq. Faut-il admettre autant de radicules qu'un embryon a de mamelons radiculaires ; ou bien ne voir dans les mamelons que les divisions d'une radicule unique ; ou encore ne considérer comme radicule que le mamelon inférieur... ? Cela est fort indifférent pourvu que l'on apprécie bien les faits (*).

Tantôt la radicule est *externe*, c'est-à-dire que son sommet

---

(*) On n'a vu qu'une radicule dans une multitude d'embryons ; on a conclu de là, qu'il était d'absolue nécessité que tout embryon n'eût qu'une radicule ; mais cette conclusion n'est rien moins que rigoureuse. Autrefois, j'avais adopté, à cet égard, l'opinion commune ; depuis, ayant reconnu qu'elle n'était appuyée sur aucune raison plausible, je l'ai abandonnée, ou, pour mieux dire, je me suis abstenu de porter un jugement.

se montre à la superficie de l'embryon, tantôt la radicule est *interne,* c'est-à-dire qu'elle est recouverte en totalité par une *coléorhize,* poche charnue, close de toutes parts, dont nous devons la découverte au célèbre Malpighi. A bien considérer la coléorhize, ce n'est autre chose qu'une écorce plus ou moins épaisse, qui se détache d'elle-même, de chaque mamelon radiculaire.

Quand la radicule est interne, on ne peut l'apercevoir que par le secours de l'anatomie : encore ce moyen n'est-il pas toujours sûr, car il est des espèces où la radicule et la coléorhize ne deviennent perceptibles qu'au moment de la germination (*commelina communis*).

Un botaniste moderne a pensé que l'on pouvait employer avec succès, le caractère de la radicule, tantôt interne, tantôt externe, pour diviser la totalité des végétaux phénogames, en deux grandes classes parfaitement naturelles; mais ce système, appuyé sur des définitions faites *à priori,* n'a pu se soutenir après un mûr examen; car on s'est convaincu que, parmi les végétaux les plus rapprochés par l'ensemble des caractères, les uns ont une coléorhize, les autres en sont dépourvus.

La radicule de quelques embryons se termine par une *rhiziophyse,* appendice de forme diverse, qui est, peut-être, un prolongement ou une expansion du tissu ombilical.

La plumule est la première ébauche des parties qui doivent se développer à l'air et à la lumière. Dans certaines espèces, elle est composée d'une *tigelle,* origine de la tige dont ces végétaux seront pourvus, et d'une *gemmule,* petit bouton de feuilles appliquées les unes sur les autres; dans d'autres, elle n'offre qu'une gemmule; dans d'autres, qu'une légère

inégalité; dans d'autres enfin, elle ne découvre son existence que pendant la germination. De même que la radicule, elle est *interne* ou *externe*. Toute plumule interne est logée dans une cavité cotylédonaire, sorte d'étui qui prend le nom de *coléoptile*.

Lorsque le collet n'est point développé, la plumule et la radicule sont *contiguës*.

Les cotylédons peuvent être définis les premières feuilles développées dans la graine. Ils n'ont pas la forme des feuilles ordinaires, attendu que leur croissance est modifiée par la position où ils se trouvent. On dirait que ces appendices se sont moulés sur la paroi de la cavité qu'ils remplissent.

Le nombre des cotylédons fournit de bons caractères pour diviser les embryons cotylédonés en deux classes : ceux qui n'ont qu'un cotylédon ou les MONOCOTYLÉDONS, ou UNILOBÉS; ceux qui en ont plusieurs ou les POLYCOTYLÉDONS, que l'on désigne plus communément sous le nom de DICOTYLÉDONS, ou BILOBÉS, parce que le nombre de lobes s'élève rarement au-dessus de deux.

Comme on a remarqué que les plantes cotylédonées se réunissent, à peu d'exceptions près, en familles naturelles qui sont entièrement monocotylédones ou dicotylédones, on a groupé les familles d'après ces caractères, lesquels s'accordent presque toujours avec ceux que l'on tire de l'organisation des tiges et de leur développement.

Par suite des modifications et dégradations successives que subit l'embryon dans la série des espèces, la radicule et le corps cotylédonaire se confondent quelquefois en une seule et même masse (*ruppia*); mais si l'on parcourt la série, on voit bientôt les deux organes se dégager l'un de l'autre, et redevenir libres et distincts (GRAMINÉES).

Quelques graines contiennent plus d'un embryon. C'est une superfétation comparable à celle d'un œuf qui renferme plusieurs fœtus. On compte souvent deux embryons dans la graine du guy, de l'*asclepias nigra*, de l'*allium fragans*, du *carex maxima*, du *triphasia*, etc. : on en compte jusqu'à huit dans l'orange. Lorsque la graine n'a point de périsperme, les embryons remplissent toute sa cavité (oranger); lorsqu'elle a un périsperme ils sont logés en commun, dans une cavité de ce corps (*asclepias nigra*), ou bien ils y ont chacun leur cavité particulière (guy).

Le périsperme du *cycas* contient les germes de cinq ou six embryons; mais un seul se développe.

L'organisation interne de l'embryon est très-simple : sa masse est composée en grande partie de tissu cellulaire. Des linéamens vasculaires très-déliés, et dont la distribution varie d'espèce à espèce, se portent du collet dans la radicule, les cotylédons et la plumule, et ils s'affaiblissent et s'effacent à mesure qu'ils s'éloignent du collet, qui est comme le centre de vie de l'embryon. Les linéamens vasculaires qui passent dans les cotylédons, ont été désignés par Charles Bonnet, sous le nom de *vaisseaux mammaires*, parce qu'en effet, les cotylédons fournissent à la jeune plante, un lait végétal, sans lequel il ne semble pas qu'elle puisse se développer.

Embryons dicotylédons et polycotylédons.

Après avoir étudié l'embryon en général, il est nécessaire de l'étudier dans les principales classes des végétaux. Je commence par les embryons dicotylédons, les plus compliqués nominativement, mais les plus simples par le fait;

car leurs diverses parties sont beaucoup plus faciles à distinguer que celles qui entrent dans la composition des monocotylédons.

En général, les embryons à plusieurs lobes séminaux ont une radicule saillante en forme de mamelon plus ou moins conique; un collet cylindrique, une plumule externe dans laquelle on distingue souvent la tigelle et la gemmule, et des cotylédons placés symétriquement autour de la plumule, de manière qu'on ne peut apercevoir celle-ci qu'en les écartant.

Reprenons ces parties successivement. Il est très-rare que la radicule soit interne, et c'est pourquoi nous devons faire une attention particulière à celle de la capucine (*) et du guy, qui est renfermée dans une coléorhize.

Souvent le mamelon de la radicule se confond tellement avec le collet, qu'il est impossible de marquer leurs limites respectives avant la germination (belle-de-nuit, potiron).

La radicule s'éloigne quelquefois de la forme conique; et alors elle s'alonge en cylindre, ou s'arrondit en boule, ou se renfle en massue, ou s'élargit en disque, etc.

La radicule du nelumbo est un mamelon à peine visible, lequel, ne se développant jamais, doit être rangé parmi ces organes impuissans dont l'existence semble n'avoir d'autre but que de rappeler un premier type.

La radicule du nénuphar (**), du *saururus* et du poivre, moins apparente encore que celle du nélumbo, porte une

---

(*) Observations de M. Auguste de Saint-Hilaire sur la capucine.

(**) Observation de M. Decandolle.

rhiziophyse en forme de poche dans laquelle l'embryon est renfermé tout entier (*).

La radicule de l'if, du *podocarpus asplenifolia*, de l'*aristolochia clematitis*, est terminée par une rhiziophyse filiforme.

La radicule du cyprès, du *thuya*, du pin, de l'*avicennia*, étant, dans l'origine, en communication immédiate avec le tissu ombilical, parce que les graines de ces plantes n'ont point de tegmen, se déchire dans sa maturité, et n'offre souvent qu'une cicatrice, à l'extrémité inférieure du collet. Durant la germination, cette cicatrice reproduit le mamelon radiculaire.

Le collet, confondu avec la radicule dans toutes les descriptions botaniques, commence immédiatement au-dessous des cotylédons, et se termine à la naissance du mamelon radiculaire. Il est très-apparent dans les CONIFÈRES, et la radicule au contraire y est à peine visible.

Presque toujours la plumule est externe; mais il s'en faut qu'elle soit toujours saillante. Il est même beaucoup d'embryons où l'on n'en découvre aucun indice avant la germination; et au contraire, dans d'autres, la gemmule est très-apparente, et elle repose quelquefois sur une tigelle.

La plumule la plus remarquable par le développement qu'elle prend dans la graine, est celle du nelumbo. Quoique

---

(*) Je ne suis pas éloigné de croire que le *piper*, le *saururus*, le *lacistema*, le *gunera*, le *misandra*, le *cecropia*, le *nymphæa*, le *nelumbium*, et peut-être quelques autres genres que l'on regarde mal-à-propos comme MONOCOTYLÉDONS, doivent prendre place non loin les uns des autres, parmi les DICOTYLÉDONS, dans la série des familles naturelles. *Voyez* mon Mémoire sur les *Endorhizes* et les *Exorhizes*, Annales du Muséum d'hist. nat., tom. 16, pag. 419.

repliée sur elle-même, elle a cinq à six millimètres de saillie, et elle est verte comme si elle eût végété à la lumière. On y voit parfaitement une tigelle cylindrique, deux feuilles primordiales dont les pétioles sont très-alongés, et un bouton renfermé dans une gaîne pétiolaire. Cette plumule est environnée d'une membrane qu'un botaniste, peu versé sans doute, dans la physiologie végétale, a pris dernièrement pour un cotylédon.

Les cotylédons sont attachés à la jonction de la plumule et du collet; leur base est de niveau. Souvent ils se resserrent à leur point d'insertion et sont comme articulés sur le collet, ou même, ils ont un support très-court, une espèce de *pétiole* comparable à celui des feuilles; de sorte qu'on voit distinctement où ils se terminent (LÉGUMINEUSES, LABIÉES, etc.). Souvent aussi, ils sont continus avec le collet, et c'est par la profondeur de la fente qui les sépare, que l'on marque leur limite (COMPOSÉES, nelumbo, *ceratophyllum*, poivre, if).

On compte communément trois cotylédons dans le *cupressus pendula;* quatre dans le *pinus inops;* cinq dans le *pinus mitis* et le *pinus laricio;* six dans le *schubertia disticha* (*); sept dans le *pinus maritima*, l'*abies alba* et l'*abies nigra;* huit dans le *pinus strobus;* on en compte jusqu'à douze dans le *pinus pinea*, etc.; mais ordinairement il n'y a que deux cotylédons.

(*) Le *schubertia disticha* est le *cupressus disticha* de Linné, connu vulgairement sous le nom de *cyprès chauve.* J'ai fait voir autre part que cette espèce était le type d'un genre nouveau. Je l'ai dédié à mon ami, M. Schoubert, botaniste polonais très-instruit, qui m'a aidé dans mes recherches sur les CONIFÈRES.

Il est rare que les cotylédons soient de grandeur inégale, comme dans le *guarea trichilioïdes*, le *ceratophyllum demersum*, et sur-tout le *trapa natans*.

Les cotylédons sont épais et charnus dans la plupart des ROSACÉES, et en général dans les végétaux qui ont peu ou point de périsperme. Ils sont minces et marqués de nervures à la manière des feuilles dans les EUPHORBIACÉES; les SAPOTILLÉES, les NYCTAGINÉES et autres végétaux très-périspermés.

Selon les espèces, les genres et les familles, les cotylédons sont larges ou étroits, entiers ou découpés, aplatis ou plissés, ou roulés sur eux-mêmes. Ces caractères sont quelquefois d'un grand secours pour rapprocher certains fruits de leurs congénères. On confondrait facilement le fruit de plusieurs mirobolans avec celui de l'agihalid, si l'on ne faisait attention aux cotylédons qui, dans l'agihalid, sont droits et appliqués l'un contre l'autre par leur face interne, et dans les mirobolans, sont roulés en spirale autour de la radicule (*).

Le nombre et l'importance des rapports, rattachent aux DICOTYLÉDONS, des végétaux qui tendent à s'en éloigner par le caractère de leur embryon. Tels sont quelques renoncules, quelques cierges, la fumeterre bulbeuse, et les cyclamens, qui n'ont qu'un cotylédon ; le lecythis (**) et la cuscute, qui n'en ont point.

Il arrive aussi que des cotylédons, distincts pour l'anatomiste avant la parfaite maturité de la graine, s'entregreffent ensuite, et forment, par leur réunion, un corps qui imite

---

(*) Observation de M. Delille.

(**) Observation de M. du Petit-Thouars.

un seul cotylédon; c'est ce qu'on soupçonnait depuis longtemps, et ce que M. Auguste de Saint-Hilaire vient de montrer dans son excellent Mémoire sur la capucine.

Embryons monocotylédons.

L'embryon monocotylédon offre souvent une masse charnue, dans laquelle les diverses parties sont confondues; et l'inspection de sa surface seule ne suffit pas pour déterminer leurs rapports; on doit encore s'aider du secours de l'anatomie.

La radicule est un simple mamelon externe, situé à l'une des extrémités de la masse de l'embryon, dans l'oignon, l'*hyacinthus serotinus*, l'*ornithogalum longibracteatum*, le *juncus bufonius*, le triglochin, l'oignon commun, etc. Elle est également terminale dans le *canna;* mais elle y est recouverte d'une *coléorhize* qui fait corps avec elle tant qu'elle est en état de repos, et qui s'en détache par lambeaux quand la graine vient à germer.

Elle est située latéralement par rapport à la masse de l'embryon, et environnée d'une coléorhize dans les GRAMINÉES, comme Malpighi et Gærtner l'ont prouvé (*).

Elle fait corps avec le cotylédon, et paraît de nature à

(*) Voici le passage de Gærtner, tom. I, pag. CL.

Plumula autem constantissimè libera est, et universus embryo, à parte suâ anteriore, plerumque denudatus, in sulco scutelli jacet; in paucis verò, à marginibus hujus introrsùm plicatis contextus est, ut in mayce et cenchro; et iterùm in aliis, radicula intrà substantiam scutelli, ceu intrà vaginam latet et ab hâc penitùs obvoluta est, ut in cerealibus plerisque.

Dans ce passage le mot *scutellum* répond au mot *cotylédon.*

rester passive pendant et après la germination dans le *ruppia* et le *zostera*.

On observe autour de l'embryon du gingembre, du *costus* et de l'*alpinia*, une enveloppe épaisse et ferme, ouverte à ses deux extrémités, qui n'est, peut-être, qu'une rhiziophyse détachée de la radicule.

La radicule du cycas a pour rhiziophyse un long fil replié et pelotonné sur lui-même.

Le collet est très-peu développé dans l'ail, le *canna*, le triglochin, l'*ornithogalum*, et au contraire, il l'est beaucoup dans le potamogeton, l'*alisma*, le *naïas*, le *butomus*, le *zanichellia*.

Il adhère au fond d'une fossette pratiquée en avant du cotylédon dans les GRAMINÉES.

Il se confond, ainsi que la radicule, avec la masse du cotylédon, dans le *zostera* et le *ruppia*.

La plumule est toujours latérale.

Elle est externe et plus ou moins saillante dans le *zostera*, le *ruppia*, grand nombre de CYPÉRACÉES, toutes les GRAMINÉES, le riz excepté.

Elle est interne et par conséquent invisible à l'extérieur dans les autres MONOCOTYLÉDONS; mais au moyen de la dissection on la découvre souvent sous sa coléoptile, laquelle est pratiquée dans l'épaisseur du cotylédon.

Les plumules externes ont une tigelle et une gemmule : la tigelle est cylindrique; la gemmule a la forme d'un cône; elle est composée de plusieurs rudimens de petites feuilles engaînées les unes dans les autres, et la plus extérieure de ces feuilles forme toujours un étui clos de toutes parts, que nous nommerons *piléole* ou *feuille primordiale piléolaire*. Il

ne faut pas confondre la piléole et la coléoptile; car la coléoptile est une simple cavité du cotylédon, tandis que la piléole, séparée de cet organe par la tigelle à laquelle elle adhère inférieurement, n'a rien du tout de commun avec lui. Quoi qu'il en soit, il est fort difficile de distinguer la piléole de la coléoptile avant la germination, à moins que, dès l'origine, la tigelle n'ait acquis un développement très-marqué, ainsi qu'on le voit dans le *zostera* et les GRAMINÉES.

Les plumules internes, tant qu'elles sont renfermées dans leur coléoptile, n'offrent pas la moindre apparence de tigelle; et leurs gemmules, semblables d'ailleurs à celles des plumules externes, sont, en général, dépourvues de piléole.

Le cotylédon est latéral par rapport au blastême.

Le cotylédon constitue la majeure partie de la masse des embryons dont la radicule et la plumule sont contiguës (*canna*, triglochin); mais ses dimensions relatives sont moins grandes quand le collet a une longueur notable (*zanichellia*).

Sa forme est sujette à beaucoup de variations. Il est cylindrique dans l'ail, le *pontederia cordata;* conique dans le *cucifera thebaïca, l'alisma plantago,* le *butomus,* etc.; fongiforme dans le *musa coccinea,* le *scirpus sylvaticus,* le *carex vulpina, etc.;* renflée en massue dans le *canna,* le *leucoïum vernum;* large et plat dans le *pothos crassinervia*, le *ravenala* de Madagascar ; ovoïde et fendu longitudinalement dans le *zostera;* en écusson plus ou moins alongé et diversement modifié dans les GRAMINÉES.

Cette dernière famille présente, dans la structure de son embryon, des nuances et même des anomalies très-remarquables. Le cotylédon du riz est complètement refermé sur la plumule, en sorte que celle-ci a une véritable coléoptile;

mais la gemmule est pourvue d'une piléole, et c'est jusqu'à présent le seul exemple que l'on puisse apporter de l'existence de la piléole et de la coléoptile dans le même embryon; le cotylédon du *holcus* et du maïs ont deux lèvres ou appendices antérieurs, lamelliformes, qui se touchent par leurs bords et cachent la plumule, le collet et la coléorhize; le cotylédon du *lolium temulentum* a deux appendices comme le *holcus* et le maïs, mais les bords de ces appendices ne se touchant pas, laissent le reste de l'embryon à découvert; le cotylédon de l'*ægylops* et du *cornucopiœ* n'a point du tout d'appendices antérieurs; enfin la radicule de ce dernier, au lieu de s'incliner vers la base de la graine, selon la manière d'être des autres GRAMINÉES, se redresse brusquement, et monte dans la direction de la plumule.

L'embryon est quelquefois muni d'un *lobule,* rudiment de feuille qui se développe du côté opposé au cotylédon, sous la forme d'une lame charnue. La petitesse du lobule et sa structure imparfaite, sont cause que peu de botanistes ont fait attention à cet organe, et qu'aucun, si ce n'est Wildenow, dont encore les expressions vagues peuvent donner lieu à quelque doute, ne l'a considéré comme une seconde feuille cotylédonaire. Le lobule se montre avant la germination dans le *lolium,* l'*ægylops,* le blé, l'avoine, et après la germination dans l'asperge.

Une petite famille, les CYCADÉES, a constamment deux cotylédons, et l'ensemble des caractères de la fructification la rapproche des CONIFÈRES, végétaux polycotylédons; mais la structure interne des CYCADÉES, et le mode de leur développement, les ramènent auprès des PALMIERS et ne permettent point qu'on les en sépare.

Situation des Embryons monocotylédons et dicotylédons relativement à la Graine.

Les espèces qui se rapprochent par l'ensemble de leurs caractères, diffèrent bien rarement par la situation de leur embryon. Remarquez qu'il n'est pas question ici de la place qu'occupe l'embryon relativement au péricarpe, mais de celle qu'il occupe relativement à l'ombilic et au périsperme: ce qui est très-différent, ainsi que la suite le fera voir.

L'embryon des CONIFÈRES traverse le périsperme comme un axe, celui des ATRIPLICÉES l'entoure comme un anneau; celui des NYCTAGINÉES, en se recourbant sur lui-même, l'environne de toutes parts; celui du cyclamen, du *polygonum*, se porte d'un seul côté de la graine; celui des PALMIERS, des GRAMINÉES, des CYPÉRACÉES, du bananier, des PAPAVÉRACÉES, du poivre, du nénuphar, est relégué vers un point de la circonférence; celui des CONVOLVULACÉES reçoit dans ses sinuosités nombreuses, les replis d'un périsperme mucilagineux.

La radicule qui aboutit à l'ombilic dans la plupart des graines, s'en éloigne sensiblement dans le *commelina*, le *tradescantia*, le cyclamen, et elle se dirige vers le point diamétralement opposé dans l'acanthe et le *sterculia balangas*.

Pour la clarté des descriptions, nous devons fixer ce que nous appelerons la *base de la graine*. L'ombilic étant presque toujours la partie la plus apparente de la surface du testa et du tegmen, et servant à unir la graine à la plante-mère, a été proposé par quelques botanistes comme point basilaire, et méritait cette préférence. Une fois la base reconnue, il semble que, pour trouver le sommet, il suffise d'assigner

le point situé à l'opposite de l'ombilic; et en effet, quand la graine a une forme régulière, et qu'elle s'alonge sensiblement dans une direction bien déterminée, un axe fictif, qui part de l'ombilic, peut indiquer le sommet par son extrémité supérieure. Mais souvent la forme de la graine est affectée de telles irrégularités, qu'il est impossible de dire où il convient de placer le sommet; ce qui, d'ailleurs, est un léger inconvénient dans la pratique, car l'expérience prouve que, dès qu'on a trouvé la base d'une graine quelconque, rien n'est plus facile que d'énoncer avec précision et clarté, la situation de l'embryon : or, c'est en général le caractère le plus important que fasse apercevoir la dissection de la graine (*).

DE LA GERMINATION.

Germination en général, et causes qui l'amènent.

La germination est la suite des développemens de l'embryon, depuis le moment de sa maturité jusqu'à celui où il se débarrasse des enveloppes séminales, et tire directement sa nourriture du dehors.

(*) Gærtner a très-bien vu que, pour assigner la place de l'embryon, il était indispensable de connaître celle de l'ombilic : c'est pourquoi il veut que l'on observe la position de la radicule, non seulement eu égard au péricarpe, mais encore eu égard à l'ombilic. Le passage suivant ne laissera aucun doute à ceux qui savent la valeur des termes que Gærtner a employés : *Situs proprius semper in basi embryonis esse censetur ; relativus autem refertur ad reliqua seminis interanea*, *et in primis ad receptaculum fructus atque seminis proprium.* Introd. CLXX. On a donc avancé légèrement que Gærtner ne considérait la situation de l'embryon *que relativement au péricarpe.*

L'embryon en état de germination prend le nom de *plantule*, et l'on y distingue deux parties principales, le *caudex ascendant* et le *caudex descendant* (*) : ce qui ne répond pas rigoureusement à ces mots *radicule* et *plumule*, car le collet appartient à l'un ou à l'autre caudex, selon qu'il se développe dans la direction de la plumule ou de la radicule. D'ailleurs, à l'exemple de Linné, nous ne considérerons sous la dénomination de caudex, que le corps, ou, si l'on veut, que l'axe de la plantule et nullement les cotylédons, les feuilles et les subdivisions de la racine principale.

Le premier effet de la germination est le gonflement total ou partiel de l'embryon, d'où résulte une solution de continuité dans les enveloppes séminales; solution qui, toute mécanique qu'elle est, s'opère avec une sorte d'uniformité dans chaque espèce, à cause de l'organisation primitive des graines et du mode de germination.

Quand l'embryon se gonfle dans plusieurs points à-la-fois, les enveloppes, fortement distendues, s'entrouvrent et se dé-

---

(*) *Caudex descendens sub terra sese sensim subducit et radiculas profert, a botanicis ex varia structura variis nominibus distinctus : 1° perpendicularis....., 2° horizontalis....., 3° simplex....., 4° ramosa....., 5° fusiformis...., 6° tuberosa...., 7° repens...., 8° fibrosa...., 7° præmorsa....*

Caudex ascendens supra terram sensim se elevat, gerens sæpius vices trunci, herbamque profert.

Arbores fruticesque omnes itaque sunt radices supra terram. Ergo arbor verticaliter inversa, e caudice descendente fert folia, ex ascendente radiculas. Phil. Bot.

Ce passage prouve que je ne m'éloigne guère de lapensée de Linné dans la définition que je donne du *caudex ascendant* et du *caudex descendant.*

chirent comme au hasard (fève, haricot). Quand le caudex descendant fait seul effort contre la paroi interne des enveloppes, et que celles-ci n'ont point d'embryotége, elles se percent avec plus ou moins de régularité (cyclamen). Quand le caudex descendant presse un embryotége, cette calotte se détache, et l'ouverture est souvent aussi régulière que si elle eût été faite avec un emporte-pièce (*canna*, *commelina, tradescantia*).

L'évolution commence presque toujours par le caudex descendant. S'il existe une coléorhize, elle s'alonge; mais le mamelon radiculaire, plus prompt dans sa croissance, la crève à son extrémité. S'il n'y a point de coléorhize, le collet tantôt s'amincit insensiblement et se confond avec la radicule, et tantôt se distingue de la radicule par un bourrelet circulaire ou par une petite couronne de poils.

Le caudex ascendant se développe peu de temps après, et il ne tarde pas à se montrer si la plumule est dépourvue de coléoptile; mais si elle en est pourvue, l'apparition du caudex est moins prompte : la plumule pousse et presse légèrement la paroi interne de la coléoptile, qui se dilate, s'amincit, et s'ouvre ou se déchire avec plus ou moins de régularité (*).

(*) Jusque dans les moindres détails, la germination offre des différences qui ne permettent point d'établir de lois générales. Selon les espèces, la coléoptile varie dans la manière de s'ouvrir : 1° elle se déchire par l'effort que fait contre sa paroi la gemmule qui tend à s'échapper, et l'ouverture irrégulière prouve qu'il y a eu solution subite de continuité (*Phœnix dactylifera*,) ; 2° elle s'ouvre à la suite d'un amincissement successif de sa paroi, lequel est causé par un déplacement organique de molécules, qui résulte de la pression faible mais continue de la gemmule, et il n'y a aucune apparence de déchirement (*allium*); 3° elle s'ouvre sans qu'il y

Le caudex ascendant commence quelquefois au-dessous des cotylédons, et alors il les soulève et les porte à la lumière (belle-de-nuit, potiron), et d'autres fois il commence au-dessus des cotylédons, et alors il les laisse dans la terre, où ils demeurent enfouis (marronnier d'Inde, GRAMINÉES). Dans le premier cas, on les dit *épigés;* dans le second, on les dit *hypogés.*

Les cotylédons épigés verdissent, s'alongent, s'élargissent, se couvrent de poils et de glandes, se marquent de veines et de nervures. Les cotylédons hypogés, ne sortant point des enveloppes séminales, conservent souvent leur couleur blanchâtre et leur forme primitive, et ils augmentent toujours en volume, soit par le simple gonflement du tissu cellulaire dont ils sont formés en grande partie (marronnier d'Inde), soit par le gonflement et l'accroissement de ce tissu (dattier).

Après la germination on désigne sous le nom de *feuilles séminales* les cotylédons épigés, et sous celui de *feuilles primordiales* les petites feuilles qui composent la gemmule.

Plusieurs causes tirées de l'organisation des graines contribuent à la germination. Nul doute que le périsperme ne serve de première nourriture à la plantule. Un embryon d'oignon, retiré soigneusement de son périsperme corné et placé sur une terre douce et fine, se conserve long-temps sans se flétrir, mais ne prend pas d'accroissement. Que si vous semez la graine telle qu'elle sort du péricarpe, l'embryon se déve-

---

ait eu même pression, et par l'effet d'une prédisposition organique, immédiate. La coléoptile s'étend alors comme une feuille, avant que la gemmule ait fait le moindre effort pour paraître au jour. (*Costus speciosus.*)

loppera en un long fil; l'une de ses extrémités restera engagée dans les enveloppes séminales, l'autre s'enfoncera dans la terre; toutes deux tireront des sucs nutritifs, celle-ci de l'humidité du sol, celle-là de la substance même du périsperme, transformée en un lait végétal, et chacune croîtra en sens inverse de l'autre par l'effet de sa propre succion. Quand le périsperme sera épuisé, la succion de la racine fournira à l'entretien de toute la plantule, et l'extrémité cotylédonaire se dressera vers le ciel.

Le phénomène se passe à-peu-près de la même manière dans les *anthericum*, les aloës etc.

L'extrême dureté du périsperme dans le dattier, le *caryota*, l'asperge, ne change point sa destination, il finit toujours par se ramollir : il se résout en une liqueur laiteuse après un temps plus ou moins long, et la partie du cotylédon qui reste sous les tuniques séminales, absorbant cette liqueur, se dilate, se gonfle, se développe, et remplit à la fin toute la cavité de la graine.

Les cotylédons jouent un grand rôle à cette première époque de la vie. Si vous les retranchez dans le potiron avant ou au moment de la germination, la plumule se fane et meurt; si vous en supprimez la majeure partie, la plante n'a qu'une végétation faible et languissante; mais si vous laissez subsister en entier ces *mamelles végétales*, vous pouvez impunément supprimer la radicule et toutes les radicelles qui se développeront durant l'expérience : la tige ne poussera pas avec moins de vigueur que si vous eussiez semé une graine intacte (*).

(*) Expériences de MM. Desfontaines, Thouin et La Billardière.

Les enveloppes séminales sont bonnes en ce qu'elles préservent les parties intérieures de l'action de la lumière; qu'elles modèrent l'entrée ou le départ des fluides; qu'elles forment un crible que ne traversent point les molécules terreuses et les substances mucilagineuses suspendues dans l'eau. Le tissu plus perméable de l'ombilic et la bouche du micropyle favorisent pourtant l'introduction des sucs nutritifs.

L'eau, la chaleur et l'air sont des agens extérieurs indispensables à l'évolution des germes. Toute substance ne peut pénétrer et parcourir le tissu de la plante qu'en dissolution dans l'eau; par conséquent, sans ce fluide, point de nutrition, point de germination. Il assouplit d'ailleurs les enveloppes séminales et facilite leur rupture. Quelques-uns pensent aussi qu'il se décompose dans l'acte de la germination, et fournit à la jeune plante une partie des élémens nécessaires à la formation des huiles, des résines et des acides.

La chaleur est un stimulant des forces vitales dans tous les êtres organisés. Il est pour chaque espèce de graine une température nécessaire à sa prompte et vigoureuse germination. Si la chaleur était plus élevée, elle altérerait les organes et détruirait le principe de la vie; si elle était plus basse, il n'y aurait pas de mouvement organique, et le germe demeurerait dans l'inaction.

L'air n'est pas moins indispensable aux plantes qu'aux animaux. Des graines dans le vide de la machine pneumatique, ne germent pas. On cite à la vérité quelques exceptions; mais M. Théodore de Saussure, qui a examiné le phénomène en habile physicien, ne voit dans ces anomalies prétendues que les résultats d'expériences fautives ou d'observations incomplètes.

Est-ce l'air tel qu'il compose l'atmosphère, c'est-à-dire, formé de 22 parties d'oxigène, de 77 d'azote et de 1 de gaz acide carbonique, qui est indispensable à l'évolution des germes, ou bien est-ce un seul de ces gaz, ou bien en est-ce deux agissant de concert ou séparément? Ces questions ont été traitées à fond, et l'on sait aujourd'hui que les graines ne germent pas dans l'azote et le gaz acide carbonique purs; qu'elles germent quand elles sont en contact avec de l'oxigène; que ce gaz en état de pureté, hâte leurs premiers développemens, mais les fait bientôt périr; qu'il convient davantage à la plantule quand il est mêlé à une certaine quantité d'azote ou d'hydrogène; que les proportions les plus favorables dans ce mélange, sont trois parties d'hydrogène ou d'azote pour une d'oxigène, ce qui répond, à peu de chose près, à la proportion de l'oxigène et de l'azote dans l'air atmosphérique; que l'acide carbonique en excès, nuit beaucoup à la germination; que l'action bienfaisante de l'oxigène consiste à débarrasser les graines de leur carbone surabondant; que si l'on ne remarque aucune diminution dans une atmosphère qui a servi à la germination, c'est que le volume du gaz carbonique produit, est le même que celui de l'oxigène absorbé.

C'est une chose certaine que l'acide muriatique oxigéné, étendu d'eau, accélère la germination (*). Des graines de *lepidium sativum* y germent en six heures, et il leur faudrait, dans de l'eau pure, un temps cinq à six fois plus considérable. Il n'est pas également prouvé que les acides nitrique

(*) Expériences de M. de Humboldt.

et sulfurique et les oxides métalliques qui retiennent faiblement l'oxigène, aient la même propriété. Cependant la théorie porte à croire que toutes les substances qui augmentent la quantité relative de l'oxigène de l'atmosphère d'une graine placée, d'ailleurs, dans des circonstances favorables à sa germination, doivent hâter l'accomplissement de ce phénomène.

Le sol le plus convenable à la germination est celui que l'eau ne lie point en pâte, mais qui la contient suspendue entre ses molécules comme dans une éponge, et qui se laisse facilement pénétrer par l'air atmosphérique. De là on peut conclure l'utilité des labours, et le mal que font aux semis les pluies qui délayent la terre; sur-tout lorsque de grandes sécheresses venant ensuite, elle se prend en une croûte épaisse qui ferme tout accès à l'air. Les graines fines doivent être à peine recouvertes de terre; les grosses graines peuvent être enfoncées plus avant, mais il est une profondeur à laquelle aucune graine ne germe. Il arrive quelquefois que lorsqu'on remue la terre d'un jardin de botanique, des graines anciennement enfouies, ramenées à la surface, produisent des plantes perdues depuis long-temps. On a vu sur les ruines d'antiques édifices, se développer tout-à-coup des espèces inconnues dans le pays : leurs graines, transportées sans doute de quelque canton éloigné, avec les matériaux du ciment, n'ayant point été exposées au contact de l'air, avaient conservé, durant des siècles, toute leur force germinative. Des observateurs dignes de foi attestent que dans des contrées incultes de l'Amérique septentrionale, après la destruction d'une forêt, le sol abandonné à la nature se couvre souvent d'un bois d'une autre essence que le premier;

phénomène qui s'explique facilement, si l'on admet que des semences enfoncées dans la terre depuis un temps immémorial, puissent rester dans l'inaction et se conserver saines jusqu'au moment où elles éprouvent l'influence de l'air atmosphérique.

La grande tension électrique de l'atmosphère, toutes choses étant égales d'ailleurs, paraît accélérer le développement des germes. Nolet assure même que, dans une espèce donnée, les graines qu'on a électrisées germent plus promptement que celles qui ne l'ont pas été. Cependant d'autres physiciens n'ont pas reconnu cette influence du fluide électrique.

L'évolution est plus prompte à l'obscurité qu'à la lumière. L'un des effets de la lumière sur les plantes est de décomposer le gaz acide carbonique, d'expulser l'oxigène et de fixer le carbone, d'où résulte l'endurcissement des parties : or, l'embryon pour germer a besoin d'être dans un état de mollesse; au lieu de retenir le carbone il faut qu'il l'exhale; l'oxigène ambiant est utile parce qu'il transforme le carbone en gaz acide carbonique, et que par ce moyen il facilite son départ : la lumière qui tend à fixer le carbone est donc nuisible à la germination.

La terre par elle-même ne fournit aux graines aucun aliment; mais elle les reçoit dans son sein, elle les environne d'une humidité bienfaisante, elle les met à l'abri de la lumière, elle les préserve de l'excès de la chaleur et du froid.

Quant au temps nécessaire à la germination, il varie selon la nature des graines et les circonstances où elles se trouvent. Communément, après trente-six heures, le laboureur voit poindre le froment, et ce n'est que la seconde année que le pépiniériste aperçoit les premières pousses du cornouiller, du rosier, de l'aubépine, etc.

En faisant tremper les graines dans de l'eau à une douce température, on avance quelquefois leur germination.

Germination des Dicotylédons.

Si, laissant de côté les exceptions et les anomalies, vous ne considérez que les faits généraux, vous trouverez que le mode de germination distingue assez bien les dicotylédons des monocotydédons; mais si vous pénétrez dans les détails, vous ne verrez plus de limites.

Une graine de dicotylédon étant semée, les lobes séminaux se gonflent, s'écartent, déchirent leurs tuniques, repoussent la terre de droite et de gauche, font passer dans la radicule l'émulsion qu'ils contiennent ou qu'ils puisent dans le périsperme. Le caudex descendant se dirige vers le centre de la terre; le caudex ascendant, souvent arrêté par son sommet entre les cotylédons, se courbe d'abord en arc, puis se redresse et monte vers le ciel. Les lobes séminaux, tantôt immobiles avec le collet qui ne prend aucun accroissement, restent cachés sous le sol (marronnier d'Inde, noyer, *mimosa unguis cati*), et tantôt, poussés par le collet qui s'élève, gagnent la lumière (sensitive, potiron, belle-de-nuit, frène, érable).

Ainsi s'exécute la germination dans une multitude de graines bilobées.

Maintenant, passons à quelques faits particuliers. Dans le marronnier d'Inde les cotylédons demeurent sous les enveloppes séminales, et leurs pétioles, en s'alongeant, dégagent le sommet du caudex ascendant, qui sans cela ne pourrait se produire à la lumière.

Les graines du palétuvier encore suspendues aux branches, poussent un caudex descendant en forme de massue et de

plus d'un décimètre de longueur : elles se détachent alors par leur propre poids, tombent la radicule la première, et s'enfoncent verticalement dans la terre.

Le nelumbo et le nénuphar ont un caudex ascendant qui attire à lui seul tous les sucs des cotylédons, et le mamelon radiculaire ne se développe pas. A son défaut, des radicelles caulinaires naissent de la base des feuilles et fournissent aux besoins de la plante. L'analogie fait soupçonner que le poivre et le *saururus* germent de même.

Le guy est essentiellement parasite : sa germination n'a de suite que lorsqu'elle s'opère sur la jeune écorce d'un végétal ligneux. Son caudex descendant perce les enveloppes séminales et s'ouvre à son extrémité inférieure en une espèce de coléorhize qui prend la forme du pavillon d'un cor de chasse. Du dedans de cette coléorhize sortent des suçoirs radicaux, par lesquels l'embryon s'attache à l'écorce des branches.

Le *trapa natans* a deux cotylédons inégaux en volume : le plus gros, renfermé dans les enveloppes séminales, pousse en avant un pétiole long et grèle, à l'extrémité duquel sont attachés la radicule, la plumule et le petit cotylédon.

Le cyclamen germe à la manière de plusieurs MONOCOTYLÉDONS; son lobe séminal (car il n'en a qu'un) ne quitte les enveloppes qu'à la fin de la germination. Son caudex descendant, les perce d'abord et se change incontinent en un tubercule qui s'enracine par sa base.

La cuscute, plante parasite privée de cotylédons, enfonce dans la terre son caudex descendant, déploie son caudex ascendant en un fil ramifié, enveloppe dans ses replis les herbes voisines; puis, insinuant dans leur écorce ses suçoirs

caulinaires, se dessèche à sa base et se sépare de la terre dont elle n'a plus besoin.

Après que la première enveloppe de la graine du pin, du sapin, du mélèze, du cèdre s'est ouverte en deux valves, le caudex descendant produit à son extrémité un mamelon radiculaire, et pousse en avant le sommet du péricarpe qui s'alonge en une gaîne membraneuse, jusqu'à ce que, ne pouvant plus s'étendre, il se déchire et laisse paraître la radicule (*).

(*) A l'époque où M. Schoubert et moi nous nous efforcions de découvrir la structure inconnue jusqu'alors de la fleur femelle des CONIFÈRES, laquelle, comme nous croyons l'avoir démontré, est contenue dans une cupule, M. Richard décrivait la germination des graines de cette famille, et l'on va voir que si sa description diffère de la nôtre, cela résulte uniquement de ce qu'il a conçu l'organisation de la fleur d'une autre manière que nous.

« Une graine du *pinus pinea*, dit ce botaniste, mise en terre légère et « un peu humectée, ou entre des éponges mouillées, commence ordinai- « rement sa germination au bout de quelques jours. Celle-ci est d'abord « annoncée par la déhiscence de l'extrémité supérieure de la noix. (*Nous pensons que le fruit des* CONIFÈRES *est une espèce de* gland, *et non une* noix, *ainsi l'enveloppe extérieure est, suivant nous, une* cupule endurcie) : « Le « *bout de la graine*, continue M. Richard, terminée par une *petite pointe* « *mousse*, se montre, se renfle, et présente, sur le côté, une bosse con- « vexe, due à une substance intérieure qui a commencé à rompre les tégu- « mens séminaux. (*Ce que M. Richard nomme* le bout de la graine, *est pour nous* le sommet du péricarpe ; *ce qu'il nomme* une petite pointe mousse, *est pour nous* le stigmate desséché). « Si on dissèque la graine à « cette première époque de la germination, on voit que la portion de « l'*endosperme* (l'endosperme *de M. Richard est le* périsperme *ou* l'albumen *des autres botanistes*) « à laquelle la radicule était attachée, s'est convertie « en une espèce de pulpe qui enveloppe avec adhérence le sommet co- « nique de celle-ci. Cette substance pulpeuse, poussée par le bout crois-

Germination des MONOCOTYLÉDONS.

Examinez la graine du maïs ou du sorgho, plantes monocotylédones de la famille des GRAMINÉES : l'embryon, tout-à-fait excentrique, est recouvert par la double paroi du tegmen et du péricarpe, qu'il crève sitôt qu'il commence à germer. En premier lieu, les deux appendices antérieurs du cotylédon se touchent par leurs bords et cachent le blastême; mais durant la germination, ces appendices s'écartent; la coléorhize et la plumule paraissent comme deux petits cônes à bases opposées. Ensuite, le mamelon radiculaire s'alonge vers le centre de la terre, et perce la coléorhize dont les lambeaux subsistent en forme de gaîne à la base de la radicule; le caudex ascendant s'élève vers le ciel; la piléole, cette feuille primordiale extérieure, close de toutes parts, s'amincit, s'étend, se fend à son sommet, et laisse poindre les autres

---

« sant de la radicule, forme d'abord la bosse mentionnée ci-dessus, et est « ensuite entraînée au-dehors par cette même radicule qu'elle revêt sous « la forme d'une tunique. Le *bout* ainsi vidé *du tégument séminal* devient « une sorte de gaîne, que la substance de la tunique entraîne à sa suite. (*Le* bout du tégument séminal *n'est autre chose*, *d'après nos observations*, *que* le sommet du péricarpe.) « Cette tunique endospermique, forcée de « s'alonger et de s'étendre par l'accroissement de la radicule, devient une « pellicule mince, et comme finement fibrilleuse, qui enfin se déchire « diversement; et la radicule ainsi que la *tigelle* en conservent assez long- « temps les fragmens ». (*J'appelle* collet *la partie que M. Richard nomme* tigelle, *attendu que cette partie se développe au-dessous des cotylédons*).

Il est visible qu'en faisant subir à la description de M. Richard les corrections que nécessitent les nouvelles découvertes sur la fleur et le fruit des CONIFÈRES, elle se rapprochera de celle que je viens de donner.

feuilles de la gemmule. Le cotylédon demeure sous la terre dans les enveloppes séminales et ne prend qu'un faible accroissement. A la fin, la substance du périsperme, absorbée par le cotylédon, s'épuise, et la plantule sevrée, tire toute sa nourriture de la terre et de l'air. C'est alors que la germination est achevée. Elle s'opère à-peu-près de même dans les autres GRAMINÉES.

Dans l'ognon, l'asphodèle, le jonc, etc., le cotylédon se développe en un long fil grèle, et la coléoptile, située à sa base, se fend en longueur pour laisser sortir la plumule.

Dans le *costus speciosus,* le sommet du cotylédon ne change pas de forme, mais sa base, qui constitue la coléoptile, s'ouvre d'elle-même, se dilate et devient une feuille mince, ovale, marquée de nervures, en tout semblable à celles qui doivent suivre.

Dans les *scirpus sylvaticus, romanus,* etc., et dans d'autres CYPÉRACÉES, par exception peu commune, la plumule se développe d'abord et paraît la première. Elle entraîne, en s'alongeant, le mamelon de la radicule qui est situé en arrière.

Dans le *canna*, le *caryota*, le *gloriosa*, le *trigidia*, etc., le corps du cotylédon s'alonge peu; mais la coléoptile s'élève en cône, et venant à se percer à son sommet, forme une gaîne à la base de la jeune tige.

Dans l'*alisma*, le *damasonium*, le potamogeton, le *naïas*, le *butomus*, etc., le collet descend dans la terre, poussant devant lui la radicule, jusqu'à ce que des radicelles formées immédiatement au-dessous de la plumule qui s'échappe de la coléoptile par une fissure latérale, attachent plus fortement la plantule au sol.

Les cycas, à cette première époque de la vie, se comportent comme beaucoup de DICOTYLÉDONS, et vous avez déja vu qu'ils ont deux lobes séminaux. Les enveloppes séminales se déchirent et la radicule paraît. Les cotylédons restent enfermés dans les enveloppes, mais leurs pétioles s'alongent et dégagent la plumule (*). Après la germination, les cycas développent leur caudex de la même manière que les PALMIERS, les *dracæna*, les FOUGÈRES, avec lesquels ils ont plusieurs traits de ressemblance.

Remarque sur la nature des Cotylédons.

Les cotylédons sont les premières feuilles dans la graine. Vous savez que lorsque leur tissu n'est pas gonflé par le périsperme, ils sont minces et veinés comme des feuilles; joignez que ceux qui s'élèvent au-dessus du sol et reçoivent la lumière, verdissent et décomposent le gaz acide carbonique à la manière des feuilles.

Ils se rapprochent des feuilles encore par de certains caractères propres aux différentes espèces : ainsi, après la germination, les cotylédons épigés des BORRAGINÉES ou ASPÉRIFOLIÉES sont tous couverts de poils rudes; ceux des *anagallis* sont parsemés en dessous de points d'un rouge livide; ceux du *menispermum fenestratum* sont percés de trous; ceux de la sensitive se meuvent, se dressent et s'appliquent l'un contre l'autre dès qu'on les touche, etc. La cuscute n'a point de feuilles et n'a point de cotylédons.

L'unité ou la pluralité de cotylédons s'accorde en général avec la structure des feuilles. La plupart de MONOCOTYLÉDONS

(*) Mémoire de M. du Petit-Thouars sur la germination du cycas.

ont des feuilles engaînantes, de sorte que la feuille extérieure recouvre les autres; le cotylédon est la première de toutes, et il cache la plumule comme dans un étui. La plupart des DICOTYLÉDONS ont au contraire des feuilles pétiolées ou du moins resserrées à leur base; et dès l'embryon, elles se montrent telles, puisqu'il porte plusieurs cotylédons distincts.

Ces rapports dans l'organisation végétale ne dépendent pas de lois si rigoureuses que la Nature ne puisse jamais s'en affranchir: les OMBELLIFÈRES, les ARALIÉES, etc., beaucoup de SYNANTHÉRÉES, ont deux cotylédons, et toutefois leurs feuilles sont engaînantes.

Direction de la Plumule et de la Radicule pendant la germination.

Pendant la germination, la plumule s'élève vers le ciel, et la radicule descend vers le centre de la terre. Cette loi ne souffre d'exceptions que pour quelques parasites (le guy, par exemple) qui germent en tous sens. Comme jusqu'ici on a recherché inutilement la cause du phénomène général, on soupçonne qu'il résulte de cet ordre de choses que nous appelons *la vie*, et dont le principe nous est et nous sera toujours inconnu. Duhamel introduisit dans des tubes de diamètre déterminé, des graines de diamètre à-peu-près égal à celui des tubes. Ce fut tantôt un gland, tantôt une fève, tantôt un marron. Il recouvrit ces graines de terre humide, et suspendit les tubes de façon que les radicules regardaient le ciel et les plumules la terre. Les radicules et les plumules se développèrent; mais parce que les premières ne purent descendre, et que les secondes ne purent monter, les unes et les autres se contournèrent en spirale.

Hunter plaça une fève au centre d'un baril rempli de terre, lequel tournait sur lui-même par un mouvement continu. La radicule, sans cesse éloignée de sa direction naturelle, s'alongea dans la direction de l'axe du baril.

M. Knigth attacha des graines de haricot autour d'une roue que l'eau faisait mouvoir. Les radicules gagnèrent l'axe de la roue; les plumules sortirent de la circonférence en rayons divergens. M. Knigth suppose que les radicules étaient attirées vers l'axe par la force centripète, et que les tiges en étaient éloignées par la force centrifuge; mais si l'on considère qu'à chaque révolution, toutes les graines, arrivant successivement au sommet de la roue, se trouvaient pour un moment dans la position la plus favorable à leur croissance, on pensera que le développement rayonnant de ces graines ne fut que l'effet de la tendance ordinaire des tiges et des racines vers le ciel et la terre.

DES GRAINES *de quelques plantes qui n'ont point d'organes sexuels, ou dans lesquelles l'existence de ces organes n'est point rigoureusement démontrée.*

Plusieurs botanistes ont avancé que les MOUSSES, les FOUGÈRES, les LYCOPODIACÉES, les HÉPATIQUES, les HYPOXYLÉES, les LICHENS, les ALGUES et les CHAMPIGNONS, sont privés de sexes, et ils ont refusé le nom de graines aux petits corps, de quelque nature qu'ils soient, par le moyen desquels ces plantes se propagent.

D'autres botanistes, au contraire, ont soutenu que toutes ces plantes ont des sexes, et qu'elles portent des graines.

Je vais traiter ici, en peu de mots, la question relative aux graines; quant à celle qui concerne les sexes, j'en parlerai

dans un autre Mémoire. Ces deux questions sont, à mon sens, tout-à-fait indépendantes l'une de l'autre.

Les seuls caractères constans des corps reproducteurs que tous les botanistes s'accordent à désigner sous le nom de graines, sont d'avoir des points fixes de développement, et de naître, non à la superficie, mais dans une cavité close de la plante, c'est-à-dire dans un ovaire. Des tuniques, un périsperme, des cotylédons, ne sont pas des attributs indispensables à l'œuf végétal. Vous avez vu précédemment que l'*avicennia*, les CONIFÈRES, etc., manquaient de tuniques; que le haricot, la fève, etc., ne présentaient aucune trace de périsperme; que la cuscute était privée de cotylédons; et toutefois aucun botaniste ne nie que ces plantes n'aient des graines: d'après cela nous pouvons aussi admettre l'existence des graines dans les espèces qui composent la classe inférieure du règne végétal quand ces espèces ont des cavités closes, remplies de corps reproducteurs; car on a déja reconnu, par le moyen de la germination, que plusieurs de ces corps ont des points fixes de développement; et il est permis de soupçonner que tous sont dans le même cas, puisque jusqu'à ce jour il n'y a aucune preuve du contraire (*).

(*) On conçoit qu'il se pourrait que les germes contenus dans les cavités closes des CRYPTOGAMES fussent semblables aux *bulbines* qui naissent quelquefois, par accident, dans les ovaires des PHÉNOGAMES, et qui ressemblent, sous quelques rapports, à des *turions* qu'on aurait séparés de la plante-mère, lesquels n'auraient évidemment point de radicule, et toutefois produiraient des racines par la force de la végétation, quand ils seraient mis en terre. Il faut convenir que s'il en était ainsi, bien que les corps reproducteurs des CRYPTOGAMES se fussent développés dans des cavités closes, il y aurait quelques difficultés à les assimiler à des graines. Mais,

Il se forme dans les cellules des conferves conjuguées de Vaucher, des corps ovales, espèces de graines qui se répandent au-dehors quand les parois des tubes viennent à se rompre. Ces corps s'ouvrent longitudinalement en deux lobes imitant deux cotylédons, du milieu desquels sort un sac vert qui s'alonge, se détache, et devient en peu de temps semblable à la plante-mère.

Beaucoup de *fucus*, plantes marines de la famille des ALGUES, ont des ovaires vésiculeux, internes, qui contiennent de petites graines oblongues. Deux habiles naturalistes, MM. Gunner et Stackhous, qui ont observé la germination de ces graines, assurent qu'elles développent un cotylédon; mais, je dois l'avouer, le nom de cotylédon ne me paraît guère applicable à la première expansion de la substance d'un *fucus*.

L'ALGUE de la Nouvelle Hollande, que M. de Lamouroux a nommée *amansia*, offre, dans des ovaires membraneux, des corps sphériques, qui se partagent en segmens anguleux, lesquels doivent être considérés comme les graines de cette plante si remarquable par son organisation.

Les LYCOPODIACÉES ont deux espèces de graines, les unes fines comme de la poussière, les autres assez volumineuses. Les premières sont anguleuses, et elles sont d'abord groupées en petites sphères distinctes, à la manière des graines de l'*amansia* (*lycopodium umbrosum*, *acutifolium*, etc.); les

---

outre que ceci n'est qu'une supposition, c'est qu'encore les corpuscules qui naissent dans les cavités closes des CRYPTOGAMES n'ont, en général, point l'aspect des *bulbines*. Ils sont globuleux, ovales, triangulaires, etc., striés, ponctués, armés de pointes, etc.; toutes choses qui semblent indiquer qu'ils sont revêtus de tuniques.

secondes sont globuleuses, et l'on y reconnaît l'existence d'un tegmen et d'un ombilic (*). La germination des unes et des autres, bien qu'elle ait été suffisamment constatée (**), n'a pas été étudiée dans ses détails.

Les MOUSSES et les FOUGÈRES renferment dans leurs ovaires une poussière verte, jaune ou blanche, dont les grains, observés au microscope, paraissent lisses ou chagrinés, ou hérissés de pointes, et qui sont ou globuleux, ou ovoïdes, ou pyramidaux. Semés sur une terre humide, ils se gonflent, germent et se débarrassent, selon quelques observateurs d'un véritable tegmen. Les mamelons radiculaires, les cotylédons et la plumule, paraissent successivement. Dans les MOUSSES, les cotylédons (selon Hedwig, il s'en développe souvent plusieurs) sont filiformes, articulés, redressés, et ils ne tardent pas à se ramifier. Dans les FOUGÈRES, le cotylédon est une foliole verte, arrondie, sinuée, sans nervures, et elle s'applique sur la terre.

Je n'ai rien à dire touchant les graines des CHAMPIGNONS, des LICHENS, des HYPOXYLÉES et de beaucoup d'autres végétaux d'une structure aussi simple, parce que j'ignore comment se développent ces poussières régénératrices. Peut-être le nom de graines n'est-il pas applicable ici : mais de quel autre nom se servir dont on puisse justifier l'emploi? Cette difficulté, si évidente par elle-même, n'a pourtant pas arrêté plusieurs botanistes modernes, et ils se sont tirés d'embarras par des hypothèses : je n'en citerai qu'une pour exemple.

(*) Observation de M. de Beauvois.

(**) Observations de Koelreuter, de Fox, de Lindsay, de Wildenow et de Brotero.

Un observateur, d'ailleurs fort habile, a prétendu tout récemment que les CHAMPIGNONS, les LICHENS, les HYPOXYLÉES, les ALGUES, et même les LYCOPODIACÉES, les FOUGÈRES, les HÉPATIQUES et les MOUSSES, au lieu d'avoir des graines, ont des *sporules,* petits corps régénérateurs, de substance homogène, qui se développent indifféremment par un point ou par un autre ; et, pour donner force à cette assertion, il a supposé l'existence d'une *liqueur sporulante* qui, pénétrant et s'épaississant dans chaque cellule, en fait une *cellule sporulée*, ou, pour parler plus clairement, une simple sporule. Mais, je le demande, à quoi bon cette hypothèse dénuée de toute espèce de fondement?... Elle ne nous apprend autre chose. sinon que son auteur, préoccupé de certaines idées systématiques qui ne lui permettent pas de rester dans un doute prudent, donne carrière à son imagination quand les faits lui manquent; car tout botaniste libre de préjugés conviendra qu'il est impossible de reconnaître la structure interne, et à plus forte raison le mode de formation des atomes organisés qui composent la poussière régénératrice des MOUSSES, des FOUGÈRES, etc.

Quelque superflu qu'il paraisse de réfuter des systèmes si vides, il le faut bien faire de temps en temps, pour montrer dans quelles opinions fantastiques se jettent ceux qui abandonnent la route de l'expérience et de l'observation.

Indépendamment des graines, beaucoup de plantes qui prennent place dans les familles que je viens de nommer, produisent à leur superficie, des corps reproducteurs de formes diverses, que l'on a nommés *bulbines, propagules, gongyles* : j'en parlerai dans un travail particulier sur les boutons.

NOUVEAU GENRE

DANS LA CLASSE DES VERS INTESTINAUX.

PAR M. BOSC.

Lu le 3 décembre 1810.

La découverte d'une nouvelle espèce parmi les vers intestinaux est un événement rare, à plus forte raison celle d'un nouveau genre. La cause en est au petit nombre de personnes qui s'occupent de la recherche de ces singuliers animaux, à l'incertitude qu'offre cette recherche, et sur-tout aux difficultés de l'observation : difficultés telles, que les naturalistes les plus exercés ne peuvent pas toujours se promettre de les vaincre.

En effet, depuis le commencement du siècle, il n'a été publié que trois genres nouveaux en helmenthologie, du moins en France; savoir, mon TENTACULAIRE, le BICORNE de M. Sultzer, et le DICTOPHYME de M. Collet-Meygret (*), tandis qu'on en a établi un très-grand nombre dans les classes voisines.

M. le Gallois, que ses travaux physiologiques, et principalement son Mémoire relatif à l'influence des nerfs sur la respiration, ont fait si avantageusement connaître, ayant trouvé, à la suite de ses expériences, le poumon d'un cochon d'Inde (*cavia porcellus*) très-garni de vers qui lui étaient

(*) Ce dernier avait été indiqué par Rèdi.

inconnus, et me l'ayant remis pour les examiner, m'a fourni les moyens d'en établir un quatrième que j'appelle TETRAGULE, *tetragulus.*

Le caractère de ce nouveau genre, qui est voisin des Echinorinques, peut être ainsi exprimé.

Corps claviforme, un peu aplati, composé d'un grand nombre d'anneaux bordés inférieurement de courtes épines ; bouche inférieure, située vers l'extrémité la plus grosse, et accompagnée, de chaque côté, de deux gros crochets mobiles de haut en bas. Anus terminal.

La seule espèce qui compose ce genre, le TETRAGULE DU CAVIA (*Tetragulus Caviæ*), a trois millimètres de longueur sur un demi-millimètre de largeur moyenne. Sa contexture est molle, et sa couleur d'un blanc de lait. On remarque un léger sinus à chacune de ses extrémités. Sa bouche est simple, ronde et grande; ses quatre crochets sont presque égaux par paire, cornés, transparens et assez gros à leur base; leur courbure ne peut être appréciée qu'après qu'ils ont été détachés, parce qu'en place et en repos, ils se présentent par le dos. J'ai compté environ quatre-vingts anneaux sur un individu, et quatre-vingts épines sur un anneau choisi sur le milieu du corps de cet individu. Ces épines sont plus longues du côté du petit bout.

C'est dans la substance même du poumon du cochon d'Inde, d'où on le tire en la déchirant, que se trouvent ces tétragules. Des ouvertures, à rebords saillants et rouges, dans lesquels ils sont plus ou moins enfoncés, indiquent les lieux où il faut les chercher : leurs crochets et leurs épines leur servent à se fixer dans leur trou, et à exciter une abondante sécrétion de sa paroi, sécrétion aux dépens de laquelle ils vivent.

Il paraît que ces vers devaient beaucoup gêner la respiration du cochon d'Inde qui les nourrissait, car j'en ai compté quarante dans son poumon, et sans doute beaucoup ont échappé à ma vue. M. le Gallois, quoiqu'il ait ouvert un grand nombre d'autres animaux de la même espèce, n'en a jamais observé que dans celui-là.

Explication de la planche, figure 1re.

A. Le tétragule extrêmement grossi et vu en dessous; B. sa coupe transversale ; C. un de ses crochets plus grossi, vu de côté; D. un de ses anneaux plus grossi, pour montrer ses épines.

DESCRIPTION
DU DIPODION,

GENRE NOUVEAU DANS LA CLASSE DES VERS INTESTINAUX,

PAR M. BOSC.

Lu le 11 mai 1812.

NOTRE collègue M. Labillardière, examinant il y a quelque temps son rucher, remarqua une abeille dont le corps était plus gros qu'à l'ordinaire, et cette circonstance l'engagea à la saisir pour en chercher la cause. Il trouva que cette grosseur contre nature était produite par un ver blanc à tête fauve qui vécut plus d'une heure, et qu'il a bien voulu me remettre pour l'étudier et le décrire.

C'est ce ver qui me donne le moyen d'établir un genre nouveau extrêmement distinct de tous ceux qui sont connus, genre que j'appelle DIPODION, *dipodium*. Voici ses caractères:

Corps mou, ovoïde articulé, légèrement aplati, terminé en arrière par deux pointes molles, et en avant par deux gros tubercules réniformes et granuleux, percés chacun d'un trou ovale. *Bouche* transversale en croissant, placée un peu au-dessous de l'intervalle des tubercules.

Espèce DIPODION APIAIRE. *Dipodium apiarium*. Bosc. Il a le corps blanc, de cinq millimètres de long sur trois de large, composé d'environ douze rameaux très-saillans, et pourvu de trois profonds sillons longitudinaux de cha-

que côté. Les tubercules antérieurs, qu'on peut regarder comme la tête, sont fauves, et formés par un support très-court, terminé par une calotte qui paraît globuleuse par-devant et par-derrière, et ovale sur le côté, mais qui est réellement réniforme, comme on s'en assure en la regardant par-dessus. Leur partie convexe est entourée de grains noirs, cornés, irréguliers, qui se touchent, et est parsemée de grains fauves de même nature. Ces tubercules sont très-rapprochés, et leur excision est en regard. C'est près de cette excision, sur une des larges faces du corps, celle que je regarde comme le dessous, que se trouve le trou ovale, à bordure saillante et blanche, dont je ne puis indiquer la fonction. A une très-petite distance des tubercules, et dans leur entre-deux, se remarque une fente longitudinale brune, avec une espèce de lèvre inférieure bordée de grains cornés, presque noirs. Est-ce la bouche ? est-ce l'anus ? Je penche pour la première idée, quoique je n'aie pas pu reconnaître d'anus à la partie postérieure, où M. Labillardière a cru voir des crochets ; mais où je n'ai trouvé que deux pointes molles. Au reste, il faudrait disséquer quelques individus pour s'assurer de la fonction de cette fente ; encore n'est-il pas sûr qu'on y parvînt à raison de la petitesse des parties et de leur mollesse.

Il est très-remarquable qu'un si gros ver puisse exister dans le corps des abeilles, dont il remplit plus de la moitié de la capacité. On doit supposer que c'est dans l'abdomen qu'il se trouve, et non dans le canal intestinal, puisqu'il fermerait entièrement ce dernier. Au reste, il paraît rare, car depuis trente ans que je possède des abeilles et que je les observe, le cas où s'est trouvé M. Labillardière ne s'est pas présenté à mes yeux.

Il m'a été observé qu'il serait possible que cet animal fût la larve d'un insecte, celle d'un conops, par exemple (*); mais son organisation est si différente de celle de toutes les larves connues, que je suis fondé à le regarder comme appartenant à la classe des vers intestinaux, jusqu'à ce que des observations positives aient fixées mes idées à cet égard.

Depuis que j'ai lu cette description à la Classe, j'ai observé un ver différent, mais du même genre, dans le bourdon terrestre, *apis terrestris*, Lin.; ce qui fortifie la présomption que celui que je viens de décrire est une larve.

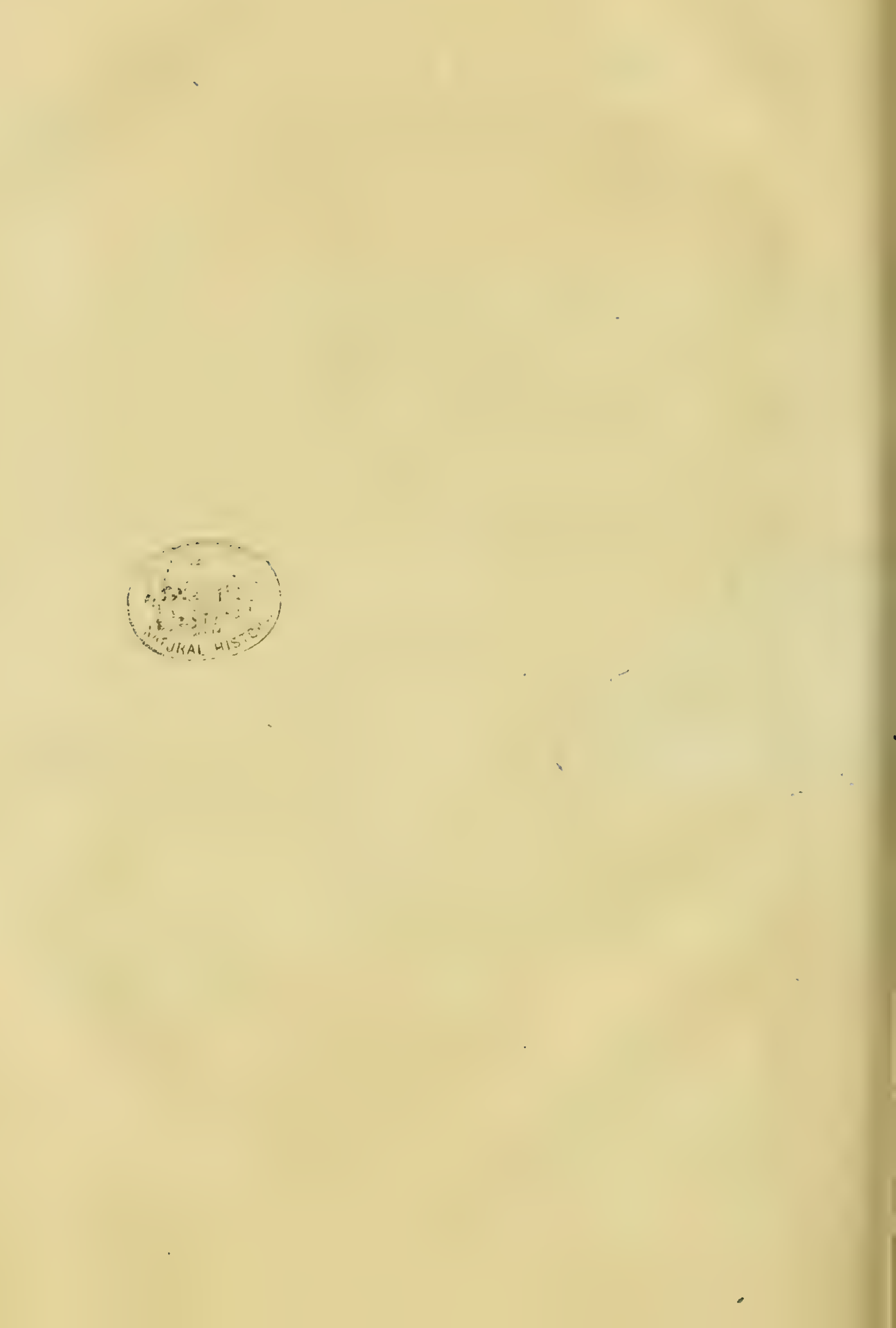
Explication de la planche, figure 2.

A. Le dipodion apiaire très-grossi, vu du côté le plus large; B. sa coupe transversale; C. un des tubercules de la tête vu de face; D. le même vu de côté.

(*) Il est résulté de deux faits cités par M. Latreille, qu'il est probable que la larve du conops couleur de rouille vit dans l'intérieur des bourdons, *apis terrestris*. Lin.



am Sculp



NOTICE

SUR UN GISSEMENT DE CORINDON,

Par M. LELIÈVRE.

Lu le 15 juillet 1811.

Il est actuellement reconnu que le corindon n'est qu'une variété de la télésie, ainsi que l'émeril granuleux ou corindon. Il a été peu observé en place; mais comme il est assez souvent accompagné de mica d'un blanc d'argent, et de feld-spath, on a dû penser qu'il devait provenir de quelques roches primitives.

Le corindon que l'on possède dans les cabinets, vient de la Chine, du Bengal, du Malabar.

M. Brongnart, dans sa Minéralogie, dit que MM. Pini et Brochi ont trouvé le corindon en Italie; qu'il avait pour gangue une roche de mica-schiste : je n'ai vu aucun échantillon de cette découverte.

M. Haüy cite M. Smith comme ayant trouvé du corindon dans les roches granitiques qui environnent Philadelphie; mais M. Richard Philips a cru reconnaître que ce n'était que du quartz mal cristallisé : depuis, M. Haüy, en ayant reçu des échantillons, a reconnu que c'était de l'émeraude.

M. Muthuon, ingénieur en chef des mines, ayant eu la complaisance de m'envoyer, il y a plus d'un an, une suite de roches récoltées dans ses différentes tournées en Piémont, une a fixé plus particulièrement mon attention : c'était une

roche granitique composée de feld-spath amorphe, d'un blanc grisâtre, plus ou moins décomposée avec peu de mica argentin, et renfermant des noyaux plus ou moins gros, depuis la grosseur d'un grain de chenevis jusqu'à celle d'une noix, d'un blanc gris brunâtre, dont la cassure présente quelquefois un segment de prisme hexaèdre, dont deux côtés parallèles sont plus grands que les quatre autres : au premier aspect on pourrait prendre cette substance pour un quartz; mais sa dûreté et sa pesanteur me la firent facilement reconnaître pour un corindon.

La grosseur des noyaux et la grande quantité que renfermaient les échantillons qui m'avaient été envoyés, me donnèrent l'espoir que cette substance pourrait se rencontrer en assez grande abondance pour être versée dans le commerce, et être employée comme émeril. J'écrivis à M. Muthuon, pour le prier de m'envoyer la description du gissement de cette roche, de m'en faire passer quelques quintaux, et de chercher s'il ne pourrait pas rencontrer quelques cavités offrant des cristaux bien prononcés. Je crois ne pouvoir mieux faire que de donner le résultat des observations de cet ingénieur.

Le terrain dans lequel se rencontre la roche du Piémont renfermant le corindon, est principalement composée d'ophite, granitelle ou grunstein porphyritique en assises, de troisième formation. Les couches recouvrent les assises dans plusieurs endroits jusqu'à une certaine hauteur, et quelquefois les dominent. Elles forment ensemble des montagnes groupées de différentes manières qui s'abaissent rapidement, et sont les dernières ramifications du Mont-Rose, au sud-est.

Les nombreuses cimes de grunstein en assises qui sont

découvertes, sont la plupart décomposées jusqu'à une profondeur de 3 à 4 mètres, et souvent davantage. De leur décomposition résulte une terre franche rougeâtre sur laquelle il y a peu de végétation; en sorte que l'on a l'aspect d'un pays brûlé.

Cette terre est exploitée pour faire des briques, ou matoni, qui servent à construire des maisons et autres édifices, vu que la roche non décomposée est fort dure et ne se taille pas. On y trouve des veinules, des nids, et par fois des blocs de mica, de feld-spath simple, et de feld-spath avec corindon, mais non mêlés ensemble, et plus ou moins altérés ou décomposés, suivant qu'ils sont plus ou moins près de la surface de cette terre. Le corindon, lui-même, a éprouvé une décomposition; ses parties se sont jointes et fondues ensemble, et forment quelques prismes et pyramides irréguliers.

Les nids de feld-spath, de corindon et de mica, sont quelquefois proéminens à la surface du terrain. Leur décomposition est plus lente que celle de la roche, et n'a lieu qu'à une certaine profondeur.

Cet ingénieur regarde cette roche, renfermant le corindon, comme d'une formation accidentelle. D'après ses observations, il pense que le corindon ne peut être évalué que dans la proportion d'un quart au plus du feld-spath qui l'empâte: ses recherches n'ont pu lui procurer aucun cristal prononcé; ce n'est que la cassure qui décèle quelques formes prismatiques hexaèdres.

Voulant m'assurer, par l'analyse, si ce corindon différait de ceux déja connus, et si le feld-spath qui l'empâte en contiendrait une quantité assez notable pour mériter d'être extraite par le lavage, j'ai remis des fragmens de l'un et de

l'autre à M. Vauquelin, qui a bien voulu se charger de ce travail, dont je donnerai le résultat après la description de ce corindon.

Caractères physiques.

Pesanteur spécifique. . . . . 3,876.

Dureté très-considérable : raye très-facilement le cristal de roche.

La couleur est grisâtre et d'un brun bleuâtre.

Cassure lisse et terne dans un sens ; lamelleuse et chatoyante dans un autre ; présentant souvent des segmens de prismes hexaèdres, dont deux côtés sont plus grands que les quatre autres ; éclat vitreux à l'intérieur.

Caractères chimiques.

Infusible au chalumeau : rougi dans un creuset, prend une légère teinte rougeâtre. Le mica qu'il renferme quelquefois, devient plus sensible par l'aspect argentin qu'il acquiert.

Analyse.

Alumine	92..
Silice	4.8
Fer oxidé	2.4
Perte	0.8

Il paraît probable à M. Vauquelin que la silice qu'il indique provient du mortier dans lequel on a broyé la pierre.

Quant au fer, il pense qu'il existe dans le minéral même ; car, après l'avoir concassé dans un mortier d'acier, il l'a fait bouillir pendant long-temps avec l'acide muriatique.

Ce résultat est assez conforme aux analyses du corindon de Chine, faite par MM. Klaproth et Chenevex.

Quant au feld-spath qui accompagne le corindon, M. Vauquelin a trouvé qu'il était composé de

Silice	62.40
Alumine	17.
Fer oxidé	4
Chaux	1.20
Eau et probablement potasse	15.40

Résultat semblable à celui obtenu par ce chimiste du feld-spath vert de Sibérie.

RAPPORT

Fait à la Classe des Sciences mathématiques et physiques de l'Institut, par M. Berthollet, *au nom d'une commission composée de* MM. Laplace, Berthollet, Monge, Chaptal et Hauy.

Les recherches physico-chimiques dont nous allons entretenir la classe, par ses ordres, ont pour objet des substances, des propriétés, des phénomènes nouveaux qui semblent constituer une science particulière, élevée sur l'ancienne physique et l'ancienne chimie.

Cet élan de la science partit des observations de MM. Hisinger et Berzelius, qui firent voir que, lorsque l'électricité voltaïque passe à travers un liquide, les principes de ce liquide et ceux des substances qu'elle peut contenir se séparent, de manière que quelques-uns viennent se réunir autour du pôle positif, et les autres autour du pôle négatif, et que les corps inflammables, les alkalis et les terres passent au pôle négatif, pendant que l'oxigène, les acides et les corps oxidés passent au positif.

M. Davy saisit ce fil, approfondit les effets de la pile voltaïque sur les substances composées que l'on expose à son action divellente, en agrandit les effets, et parvint, par ce moyen, à des résultats brillans et inattendus.

L'éclat de ces découvertes excita la curiosité et le zèle de tous les physiciens; mais à cette époque, on ne se flattait de parvenir à d'autres effets remarquables que par l'ac-

tion d'une pile à grandes dimensions, et par conséquent très-dispendieuse : la munificence de Sa Majesté procura à l'École Polytechnique les moyens de construire cet instrument, qui fut confié à MM. Gay-Lussac et Thenard.

Ils réunissent dans l'ouvrage dont nous nous occupons, les découvertes qu'ils ont successivement commmuniquées à l'Institut; ils ont lié ces parties éparses, et y ont ajouté des observations et des discussions. Le vif intérêt qu'a inspiré chaque partie isolée, rendrait inutile le soin que nous prendrions avec plaisir de faire ressortir les différens mérites d'un ouvrage si fécond en découvertes intéressantes; mais nous avons cru qu'il serait avantageux d'en tracer un précis, qui pût donner à ceux qui ne s'occupent pas particulièrement de la chimie, et qui ne sont pas familiarisés avec ses procédés, une connaissance suffisante des résultats qu'il renferme.

Une grande partie des expériences de MM. Gay-Lussac et Thenard avait un objet commun avec les recherches que M. Davy poursuivait avec autant d'ardeur que de sagacité, et il a dû souvent arriver que les mêmes observations se sont présentées à M. Davy et à ses concurrens : la certitude des faits gagne alors par un double témoignage, et les différences qui se trouvent dans les observations, donnent lieu à des discussions utiles; mais la propriété du génie ne peut souffrir aucune atteinte, d'autant plus que les dates des découvertes respectives ont été consignées devant la société royale et devant l'Institut, et qu'elles sont rappelées avec soin dans l'ouvrage de MM. Gay-Lussac et Thenard. Si nous omettons de rappeler sur chaque objet ce qui est dû à M. Davy, notre intention n'est point d'atténuer le mérite

de ses découvertes, et sans doute lui-même ne le supposera pas.

L'ouvrage est divisé en quatre parties qui forment deux volumes.

Les auteurs décrivent d'abord la construction des piles dont ils se sont servis, et particulièrement de la plus grande, qui était composée de six cents paires, formant une surface de six cents mètres carrés; ils font connaître les manipulations qu'elles exigent; ils passent ensuite aux expériences qu'ils ont faites pour déterminer les causes qui font varier l'énergie de la batterie, dans le dessein de reconnaître les circonstances favorables ou désavantageuses aux expériences qu'ils devaient tenter; d'ailleurs ce genre de recherches ne leur promettait pas des résultats importans par eux-mêmes, parce que M. Davy et d'autres physiciens l'avaient presque épuisé.

Ils distinguent l'énergie électrique d'une pile, qui se mesure par la tension, de l'énergie chimique, dont les effets paraissent dépendre en grande partie de la conductibilité plus ou moins grande des liquides. C'est cette énergie dont il leur importait de déterminer les causes : ils ont pris pour mesure comparative des effets, la quantité de gaz qui se dégage de l'eau dans chaque circonstance; et ils ont trouvé que cette quantité, qui est presque nulle lorsque le liquide est de l'eau pure et récemment bouillie, augmente selon les mélanges que l'on fait, non-seulement dans le liquide que l'on introduit dans les auges, mais aussi dans le récipient, où l'on réunit les fils de platine qui partent des deux extrémités de la pile.

Ils ont donc observé que l'effet était accru non-seulement par la nature du liquide employé dans les auges, mais aussi

par celui que contenait le récipient; qu'il devait y avoir un rapport entre ces deux liquides pour obtenir le plus grand effet, et que les acides et quelques sels neutres produisent séparément un effet beaucoup moins considérable que lorsqu'on les réunit dans le liquide. La longueur de la partie des fils métalliques conducteurs qui était plongée dans le liquide où le circuit était établi, a aussi contribué à l'effet.

La force de la pile, mesurée par la quantité de gaz que l'on obtient, est bien éloignée de croître dans le même rapport que le nombre des paires de disques; d'où il suit que dans plusieurs cas il est préférable, pour produire une décomposition chimique, de n'employer que de petites piles séparées, au lieu d'en enchaîner l'action; cependant on doit employer des piles composées d'un grand nombre de disques, lorsqu'il s'agit de séparer des élémens qui ne peuvent céder qu'à une force répulsive considérable, ou lorsque le corps qu'on doit dégager se détruit facilement par le contact de l'air, et exige par-là que l'opération soit prompte.

Il était sur-tout important de reconnaître l'iufluence de la surface des disques métalliques; la comparaison de deux piles égales par le nombre des disques, mais différentes par leur surface, a fait voir que les effets sont à-peu-près proportionnels à ces surfaces.

M. Vilkinson s'était occupé de mesurer les effets de la pile; mais, au lieu de les comparer par la quantité de gaz qu'elle dégage d'un liquide dans lequel plongent les deux fils conducteurs, il les avait estimés par la longueur de fil d'acier qu'elle peut brûler à chaque contact, en faisant varier la surface seule des disques, ou leur nombre et leur surface. Ses expériences donnent pour résultats que la longueur des

fils qui peuvent être brûlés par deux piles formées de disques égaux en nombre et différens en surface, est comme le cube de ces surfaces.

Les auteurs remarquent que leur procédé a l'avantage de rendre sensible l'action de la pile, lorsque celui de M. Vilkinson ne donne aucune indication; car une pile faible peut dégager du gaz, pendant qu'elle ne produit pas de combustion dans un fil d'acier; mais il n'explique pas d'où vient la grande différence qui se trouve entre leurs résultats et ceux de M. Vilkinson.

Ils terminent leurs recherches sur l'action même de la pile, par la comparaison entre les effets chimiques et la tension électrique d'une pile montée avec divers liquides, et ils concluent de leurs expériences, que l'énergie chimique d'une pile, dépend de sa tension, de la conductibilité des liquides avec lesquels on la charge, et de leur facile décomposition.

Après ces recherches préliminaires sur l'énergie de la pile, les auteurs passent à la description des effets qu'ils ont obtenus, en exposant divers corps à l'action de leur grande batterie composée de six cents paires de disques, et chargée avec de l'eau qui tenait en dissolution 9 à 10 centièmes de muriate de soude, et $\frac{1}{19}$ d'acide sulfurique concentré; mais ils avouent qu'ils n'ont pu recueillir de l'action de cette grande batterie, qu'un petit nombre d'observations, parce que les piles à petits disques produisent les mêmes effets que les piles à grands disques.

Néanmoins ils remarquent que la commotion que donne leur grande batterie est insupportable pour celui qui la reçoit, mais qu'elle n'est pas sensible au milieu d'une chaîne

formée de quatre à cinq personnes; ce qui la distingue d'une commotion produite par une bouteille de Leyde. Une autre singularité, c'est que la commotion produite par une pile composée d'un nombre égal de disques, mais d'une surface beaucoup plus petite, ne laisse pas apercevoir de différence marquée avec celle de la pile composée de disques à grande surface. Malgré la puissance de la grande pile, il ne se dégage qu'une quantité de gaz à peine appréciable de l'eau où se réunissent les fils conducteurs, si elle est bien pure; mais il s'en dégage de grandes quantités, pour peu qu'elle contienne d'acide.

La potasse et la soude, exposées à la grande batterie, se décomposent avec rapidité; mais la substance qui en résulte brûle à mesure, et vingt minutes après que la batterie a été chargée, on n'obtient plus de décomposition des alkalis, quoique les commotions qu'elle donne soit excessivement fortes, et que sa tension n'ait pas changé; cependant on opère facilement cette décomposition, avec une pile récemment chargée de quatre-vingts paires vingt fois plus petites que celles de la grande batterie.

La barite fondue donne des étincelles qui s'elancent de sa surface, vers le fil négatif, et disparaissent en formant une fumée très-âcre et très-dangereuse à respirer. Si l'on établit, au moyen du mercure, une communication entre cette base et le fil négatif, on obtient promptement un amalgame qui décompose l'eau avec effervescence, et la rend alkaline; mais une pile de cent paires de sept à huit centimètres de côté est suffisante pour cette décomposition.

La strontiane et la chaux n'ont donné que des signes douteux de décomposition; mais elles ont formé des amal-

games au moyen du mercure. La magnésie, plus rebelle, n'a pas même formé d'amalgame, et n'a montré que de faibles indices de décomposition.

Nous abandonnons les effets particuliers d'une pile à grandes dimensions, pour observer ceux que peuvent produire des piles ordinaires.

Les expériences que MM. Gay-Lussac et Thenard ont faites sur la production d'un amalgame par l'ammoniaque et les sels ammoniacaux, méritent une attention particulière, parce qu'elles les conduisent, sur la nature de cet amalgame, à des conclusions différentes de celles de M. Davy.

Cet amalgame singulier s'obtient par deux procédés.

Dans l'un on soumet à l'action de la pile le carbonate ou tout autre sel ammoniacal en contact avec un peu de mercure, de manière que le fil métallique, qui communique avec le pôle négatif, soit en contact avec le mercure, et le pôle positif avec le sel. A peine l'action voltaïque commence-t-elle, que l'on voit le mercure augmenter considérablement de volume, et s'épaissir bientôt au point de former un solide mou, qui ressemble à l'amalgame mou de zinc.

Dans l'autre procédé, qui est dû à M. Davy, on verse une combinaison liquide de mercure et de potassium dans une petite coupelle de sel ammoniac, légèrement humectée. L'amalgame se forme, s'épaissit et prend un volume six à sept fois plus considérable que celui qu'il avait. Ces deux amalgames ont cependant quelques différences; le premier commence à se décomposer dès qu'il est soustrait à l'action électrique; le second n'a pas exactement les mêmes proportions, et il est plus permanent.

Cette combinaison a conduit MM. Berzelius, Pontin et

Davy, à une opinion qui a droit de surprendre. L'analogie de cet amalgame avec celui que l'on fait avec le potassium et le sodium, a suffi pour leur faire conclure qu'il est pareillement une combinaison de mercure et d'un métal particulier, base de l'ammoniaque, auquel on donne le nom d'*ammonium*, en regardant l'ammoniaque comme un oxide métallique.

Cependant les nombreuses tentatives que M. Davy a faites, n'ont pu lui faire apercevoir l'ammonium; il n'a retiré, de la décomposition de l'amalgame ammoniacal, que du mercure, de l'hydrogène et de l'ammoniaque. Il est obligé de supposer que dans tous les procédés de décomposition, il se trouve un peu d'eau qui d'une part donne l'hydrogène, et d'un autre côté rend l'oxigène nécessaire à l'ammonium pour rétablir l'ammoniaque.

MM. Gay-Lussac et Thenard pensent, au contraire, que l'amalgame d'ammoniaque est une combinaison de mercure, d'hydrogène et d'ammoniaque; ils expliquent, par la faible condensation de l'hydrogène, l'expansion que l'on observe dans l'amalgame, ainsi que sa facile et prompte décomposition.

Pour établir leur opinion, ils observent d'abord ce qui se passe, lorsqu'on prépare l'amalgame ammoniacal, par le moyen du muriate d'ammoniaque, en contact avec le mercure; il se dégage du côté du pôle positif tant d'acide muriatique oxigéné, qu'il est difficile d'en respirer l'exhalaison; on aperçoit, au contraire, à peine quelques signes d'effervescence au pôle négatif; mais si on ôte le mercure, il y en a une très-vive: d'où l'on peut déja conclure que le gaz, qui qui se dégage dans ce cas, se combine avec le métal dans le premier.

Ils confirment ce résultat par une analyse rigoureuse des élémens qui proviennent de la décomposition de l'amalgame d'ammoniaque; ils prennent, pour éviter l'eau dont l'intervention est nécessaire dans l'explication de M. Davy, des soins qui ne laissent aucun doute, en sorte qu'on est obligé d'admettre avec eux que l'hydrogène est un des élémens de l'amalgame qui est par conséquent une combinaison de mercure, d'hydrogène et d'ammoniaque toute formée; ils déterminent les proportions de ces élémens dans les deux espèces d'amalgame d'ammoniaque.

La seconde partie de l'ouvrage de MM. Gay-Lussac et Thenard a pour objet la préparation du potassium et du sodium, et les phénomènes qu'ils présentent avec les divers corps de la nature.

On se rappelle l'impression que firent les belles expériences de M. Davy, lorsqu'après avoir analysé les effets généraux de la pile sur les substances qui sont soumises à son action, il parvint à produire le potasium et le sodium, dont il fit connaître les principales propriétés.

D'abord il parut réservé à la puissance de l'électricité, de produire ces phénomènes nouveaux; mais bientôt MM. Gay-Lussac et Thenard firent voir que l'action mutuelle des corps, qui est le principe des autres phénomènes chimiques, peut aussi produire les nouvelles substances métalloïdes, et le procédé qu'ils donnèrent, a l'avantage de pouvoir fournir avec facilité des quantités considérables de ces substances, qui sont devenues un moyen puissant d'analyse.

Ce procédé important consiste à faire couler peu-à-peu, par le moyen de la chaleur, la potasse et la soude bien pures, à travers la tournure de fer dont on a rempli un canon de

fusil, et qu'on a élevée à une haute chaleur : les nouvelles substances volatilisées se réunissent et se solidifient dans l'extrémité refroidie de l'appareil. Les auteurs entrent dans tous les détails nécessaires pour faire disparaître les difficultés qu'ont éprouvées plusieurs de ceux qui ont voulu répéter leurs expériences ; ils insistent particulièrement sur la nécessité d'employer la potasse bien privée de soude, pour obtenir le potassium, et la soude bien privée de potasse pour se procurer le sodium, dans la vue de constater les propriétés qui appartiennent à chacune de ces substances.

Ce qui rend ce soin nécessaire, c'est qu'un petit mélange de l'une de ces substances avec l'autre, produit un alliage qui a des propriétés physiques assez différentes de celles des substances pures.

L'alliage où le sodium est prédominant, est toujours plus fusible que le sodium, mais il l'est d'autant moins que sa proportion est plus grande ; le contraire a lieu lorsque c'est le potassium qui prédomine.

Les auteurs expliquent par un mélange de cette espèce les différences qui se trouvent entre leurs résultats et ceux de M. Davy, relativement à la pesanteur spécifique, et à la fusibilité du potassium et du sodium.

Selon M. Davy, la pesanteur spécifique du potassium est 0,600, celle de l'eau étant 1000, et d'après leurs observations elle est 0, 865 ; M. Davy fixe sa parfaite liquéfaction à 30 $\frac{2}{3}$ degrès du thermomètre ; ils ne l'ont observée qu'à 58 degrés. M. Davy attribue au sodium une pesanteur spécifique de 0,9348, et il fixe sa liquéfaction à 65 degrés ; selon les auteurs, sa pesanteur spécifique est de 0,9348, et il se liquéfie à 90 degrés. Néanmoins il serait à desirer qu'ils

eussent confirmé leur explication, en comparant le potassium et le sodium qui auraient été produits des mêmes alkalis, par le moyen de l'opération électrique, et par le moyen de l'action chimique.

Après avoir déterminé les propriétés physiques du potassium et du sodium, les auteurs passent à leur action chimique sur les autres substances et sur les changemens qu'ils éprouvent eux-mêmes par cette action, en s'appuyant toujours sur l'hypothèse que ces substances sont des métaux.

Ils décrivent les phénomènes curieux que présentent ces métaux lorsqu'on les met dans l'eau, et ils déterminent par la quantité d'hydrogène qui s'en dégage, celle de l'oxigène qui a dû se combiner avec eux pour les réduire en oxide, état dans lequel ils forment la potasse et la soude ordinaire. Leur évaluation à laquelle ils ont cherché à donner la plus grande exactitude, diffère très-peu de celle qu'avait établie M. Davy sur des expériences analogues. Il résulte de leurs observations, que 100 parties de potasse sont formées de 83,371 de potassium, et de 16,627 d'oxigène, et la soude de 77,7 de sodium et de 22,3 d'oxigène.

Mais le potassium et le sodium ne sont pas limités à un degré d'oxidation; les auteurs en ont reconnu trois, et les expériences qu'ils ont faites pour constater les quantités d'oxigène propres à ces divers degrés d'oxidation, les circonstances qui les déterminent, et les principales propriétés des oxides, conduisent à des résultats aussi intéressans que nouveaux.

On obtient l'oxide de potassium au *minimum* par une combustion du potassium mis en contact à froid avec de l'air dont le renouvellement est lent et successif. Cet oxide est

d'un gris bleuâtre, bien cassant, fusible à une légère chaleur; il conserve de l'inflammabilité, quoiqu'à un degré plus faible que le potassium.

Le second degré d'oxidation est celui qui appartient au potassium que l'on a mis en contact avec l'eau.

Enfin, on obtient un excès d'oxidation, en brûlant dans le gaz oxigène, ou même dans l'air atmosphérique, à une température élevée, le potassium placé sur-tout sur l'argent: le potassium a pris par-là deux et jusqu'à trois fois autant d'oxigène qu'il en exige pour passer à l'état de potasse; il abandonne avec l'eau l'oxigène qui passe la proportion du second degré d'oxidation. L'action de cet oxide sur les corps combustibles est très-grande, à l'aide de la chaleur. Tous, ou presque tous, le ramènent à l'état de potasse, et un grand nombre même le décomposent avec une vive lumière; en sorte que le potassium produit les phénomènes de la combustion, par l'oxigène qu'il enlève aux autres substances, ensuite il devient capable de produire la combustion et l'inflammation par un excès d'oxigène qu'il cède aux autres corps.

L'oxide de sodium au *minimum* est gris-blanc, sans aucun éclat métallique; il est susceptible de donner beaucoup d'hydrogène avec l'eau, mais moins que le potassium.

L'état moyen d'oxidation constitue la soude: le sodium passe plus difficilement à l'excès d'oxidation que le potassium; il ne s'en forme point à froid; mais on l'obtient facilement dans le gaz oxigène au moyen de la chaleur: le sodium peut prendre par-là une fois et demi et même plus, d'oxigène qu'il n'en exige pour passer à l'état de soude; il est fusible à l'aide de la chaleur, mais moins que l'oxide

de potassium. Son action sur les autres corps est analogue à celle du potassium très-oxidé.

On peut obtenir les suroxides de potassium et de sodium en traitant le potassium et le sodium par certains oxides métalliques, et sur-tout par ceux qui ne tiennent pas beaucoup à l'oxigène, et on les obtient encore en traitant le potassium par le gaz nitreux et par le gaz oxide d'azote, et le sodium par le gaz oxide d'azote seulement; mais il arrive, si les gaz sont en assez grande quantité, et qu'on les fasse agir assez long-temps sur le potassium et le sodium, qu'il se forme bientôt des nitrites de potasse et de soude.

Enfin, on parvient à former le suroxide de potassium et de sodium, sans employer les substances métalloïdes, mais en tenant au rouge et avec le contact de l'air, de la potasse ou de la soude ordinaire, dans un creuset d'argent, de platine ou de terre; le creuzet d'argent est préférable, parce qu'il n'est pas attaqué; en les traitant ensuite par l'eau, on en dégage aussitôt de l'oxigène.

L'analogie a conduit les auteurs à tenter la suroxidation des terres; jusqu'ici ils n'ont reconnu la propriété de se combiner avec l'oxigène, que dans la barite, qui la possède à un degré très-remarquable; mais il faut employer celle qui est privée d'eau.

Ils passent à l'action des corps combustibles sur le potassium et le sodium.

Le gaz hydrogène ne se combine avec le potassium ni à la température ordinaire ni à une chaleur rouge; mais entre les deux points, il est un degré de température où ces deux corps s'unissent facilement. La température bornée où cette combinaison est possible, explique comment elle a échappé à l'habileté de M. Davy.

L'hydrure de potassium est gris, sans apparence métallique; il ne s'enflamme ni dans l'air, ni dans l'oxigène à la température ordinaire ; il y brûle vivement à une température élevée ; il produit avec l'eau un quart de plus d'hydrogène que le potassium, et un peu au-delà; ce qui prouve qu'il avait reçu, dans sa combinaison, cette quantité excédente d'hydrogène.

Le gaz azote n'a montré aucune action sur le potassium à toute espèce de température: le charbon a paru se combiner avec lui.

Le phosphore se combine facilement avec le potassium et le sodium; les phosphures qui en résultent ressemblent au phosphure de chaux.

Le souffre forme aussi des sulfures de potassium et de sodium qui varient en couleur, selon le degré de feu auquel ils ont été exposés.

Le gaz hydrogène phosphuré et le sulfuré exercent une action vive sur le potassium et sur le sodium, qui s'emparent du phosphore et du souffre, se changent par-là en phosphures et en sulfures, et ne laissent que le gaz hydrogène.

M. Davy avait conclu des expériences qu'il avait faites en faisant agir le potassium sur l'hydrogène surfuré, que ce gaz contient de l'oxigène, parce que la quantité de gaz hydrogène sulfuré qu'on reproduit par le moyen d'un acide par lequel on décompose le sulfure qui s'est formé, est inférieure, selon lui, à la quantité de l'hydrogène sulfuré qui a été employé dans l'expérience; il faudrait donc que le potassium eût trouvé un supplément d'oxigène dans l'hydrogène sulfuré, pour être réduit en potasse.

MM. Gay-Lussac et Thenard ont d'abord cherché le moyen

le plus propre à obtenir le gaz hydrogène sulfuré sans mélange de gaz hydrogène : ils ont ensuite déterminé la quantité d'hydrogène qui s'y trouve combiné, ce qu'ils ont fait en le décomposant par le moyen de l'étain; ils ont trouvé par-là qu'un volume de gaz hydrogène sulfuré contient précisément un volume égal de gaz hydrogène : ayant ensuite pris exactement la pesanteur spécifique du gaz hydrogène sulfuré, ils ont déterminé avec précision les quantités des deux élémens qui forment le gaz, dans la supposition qu'eux seuls le composent. Cette supposition, ils l'ont réalisée par les produits qu'ils ont obtenus de la décomposition de l'hydrogène sulfuré par le potassium; car, dans un grand nombre d'expériences dont les résultats s'accordent parfaitement, ils ont reconnu que le gaz hydrogène qui résulte de l'action du potassium sur l'hydrogène sulfuré, est en même quantité que celui que le potassium aurait donné par l'action de l'eau, et ensuite que le sulfure qui s'est formé, étant décomposé par un acide, donne un volume de gaz hydrogène sulfuré égal à celui qu'avait le gaz sulfuré mis en expérience.

Ils combattent encore par des expériences analogues l'opinion de M. Davy, que le phosphore et le gaz hydrogène phosphuré contiennent de l'oxigène : ils font voir que le gaz hydrogène phosphuré diffère du sulfuré dans la proportion de l'hydrogène qui s'y trouve condensé, en sorte qu'il occuperait dans l'état isolé un volume une fois et demie aussi grand: l'hydrogène phosphuré diffère encore du sulfuré, en ce qu'il abandonne au potassium le phosphore pur; pendant qu'une partie de l'hydrogène sulfuré se combine sans décomposition avec le potassium, ainsi qu'avec le sodium.

Le potassium et le sodium forment avec les métaux des alliages qui sont très-fusibles, mais qui varient par les qualités du métal qui entre dans l'alliage, et par les proportions des deux élémens. Ces alliages se décomposent promptement à l'air et par le contact de l'eau; le potassium se réduit en potasse, et il se dégage la quantité d'hydrogène qui accompagne cette réduction : cependant l'alliage avec l'arsenic présente une anomalie apparente ; l'hydrogène indiqué par l'analyse de l'hydrogène arséniqué, qui remplace le gaz hydrogène, ne représente qu'une partie de l'hydrogène qui se dégage dans les autres: les auteurs font voir que cette différence dépend d'un hydrure d'arsenic qui se forme et qui soustrait une partie de l'hydrogène.

De-là les auteurs passent à l'action que le potassium et le sodium exercent sur les oxides, à la tête desquels ils placent l'oxide de carbone et deux oxides de phosphore.

L'oxide de carbone est décomposé à l'aide de la chaleur; le carbone en est précipité; le potassium et le sodium sont amenés à l'état de potasse et de soude; les oxides de phosphore sont aussi décomposés; tous les oxides métalliques le sont également, et ils présentent dans cette décomposition des phénomènes différens, selon les proportions employées, selon la force avec laquelle les oxides retiennent l'oxigène, et selon la quantité qu'ils en contiennent. S'il y a un excès de potassinm ou de sodium, cet excès se combine avec le métal réduit; si au contraire il y a un excès d'oxide à un degré d'oxidation élevé, il est simplement ramené à un degré inférieur.

L'action puissante du potassium et du sodium sur les acides qui avaient résisté à tous les moyens d'analyse em-

ployés jusque-là, a donné les résultats les plus importans.

L'acide boracique qu'on soumet à cette action doit être bien pur, et les auteurs font connaître les moyens de l'obtenir dans cet état : après l'avoir vitrifié et réduit en poudre, on le stratifie avec le potassium, et on l'expose à l'action de la chaleur ; bientôt le mélange rougit avec une grande production de chaleur : on trouve après cela que ce mélange contient du borate de potasse régénéré, et une substance particulière, qui, dégagée des autres substances, est brune-verdâtre.

Cette substance est la base de l'acide boracique, dont une partie a été entièrement décomposée, en cédant l'oxigène au potassium. Les auteurs la désignent par le nom de bore.

Le bore est solide, insipide, sans action sur la teinture de tournesol et sur le sirop de violettes ; il ne se fond ni ne se volatilise à un haut degré de chaleur ; il est tout-à-fait insoluble dans l'eau, dans l'alcool, dans l'éther et dans les huiles, soit à froid soit à chaud ; mais il brûle dans le gaz oxigène à une chaleur capable de donner une couleur rouge-cerise au vase qui le contient ; par cette combustion, le bore absorbe l'oxigène et reprend l'état d'acide boracique, en sorte que la synthèse confirme pleinement les résultats de l'analyse.

Les auteurs ayant désigné cette base de l'acide boracique par le nom de bore, ils proposent de donner le nom d'acide borique à l'acide boracique, selon les règles convenues de la nomenclature ; mais si l'on donnait avec M. Davy le nom de boracium à cette base, on éviterait un changement dans la nomenclature admise.

Le bore agit avec une grande énergie sur les acides nitriques et nitreux, il disparaît et passe à l'état d'acide borique,

en dégageant une grande quantité de gaz nitreux et peut-être de gaz oxide d'azote et de l'azote ; il produit sur la plupart des sels qui contiennent de l'oxigène, les mêmes effets que les autres corps inflammables ; il décompose même à une haute température le carbonate de soude, en en dégageant le charbon. Il réduit la plupart des oxides métalliques.

Il était intéressant de déterminer la proportion d'oxigène qui entre dans l'acide borique ; la combustion directe n'a pu servir à cette détermination, parce qu'elle exige plusieurs opérations successives ; les auteurs se sont donc servis de la réduction du bore en acide borique par le moyen de l'acide nitrique ; et ils concluent d'une expérience dont ils annoncent cependant l'insuffisance, que l'acide borique contient un tiers de son poids d'oxigène.

Le gaz acide carbonique est décomposé par le potassium ; il en résulte du charbon mis à nu, et de la potasse combinée avec une partie de l'acide carbonique ; le gaz acide sulfureux l'est aussi, et laisse un sulfure de potasse régénéré, avec une portion de sulfure de potassium. Le gaz acide nitreux et le gaz muriatique oxigéné sont aussi décomposés.

Le potassium agit fortement sur le gaz muriatique ; il se forme du muriate de potasse, et il se dégage du gaz hydrogène.

L'acide phosphorique vitreux laisse, par sa décomposition, du phosphure rouge de potasse.

Les auteurs ont encore observé la décomposition de l'acide arsénique, de l'acide molybdique et de l'acide chromique ; ils décrivent avec soin les circonstances plus ou moins favorables à ces décompositions, les produits qu'on en obtient, et les différences que présente le sodium, qui, en général, agit avec moins d'énergie que le potassium.

Ils décrivent ensuite avec le même soin les phénomènes que présentent le potassium et le sodium mis en contact avec l'air et les acides dissous dans l'eau, à la température de l'atmosphère.

Après les nombreuses expériences qu'ils ont faites sur les acides, les auteurs passent à l'action du potassium et du sodium sur les substances alcalines.

Le potassium qu'on a fait volatiliser à travers les différens alcalis bien secs, s'est combiné en plus ou moins grande partie avec eux ; beaucoup de gaz hydrogène s'est dégagé dans son action sur la potasse, et le mélange qui en est résulté s'est trouvé analogue à l'oxide de potasse au *minimum*, et faisait une vive effervescence avec l'eau ; mais il s'est dégagé peu d'hydrogène dans l'expérience faite avec la barite, la sorontiane, la chaux, la magnésie, la zircone et la silice, et ces différentes bases n'ont ensuite produit qu'une effervescence très-légère avec l'eau.

Le potassium a présenté avec le gaz ammoniac des phénomènes qui demandent beaucoup d'attention, parce qu'ils servent à une discussion intéressante sur la composition de l'ammoniaque et sur la nature même du potassium et du sodium, dont on s'occupera dans la suite de l'ouvrage.

Lorsqu'on fait fondre le potassium dans le gaz ammoniac, il disparaît peu-à-peu et se transforme en une matière verte-olivâtre très-fusible; le gaz ammoniac lui-même disparaît et se trouve remplacé en partie par un volume de gaz hydrogène.

Cette opération se fait à une légère chaleur; aussi-tôt que la transformation est opérée, on doit cesser de chauffer; si on ne le fait pas, ou si dans le cours de l'expérience on emploie différens degrés de chaleur, les résultats diffèrent,

comme on le voit dans un tableau qui présente les résultats de dix expériences, et par lequel on voit que la quantité de gaz ammoniac absorbée par le potassium est variable en raison du degré de chaleur auquel on l'expose ; mais que, quelle que soit la quantité d'ammoniaque absorbée, il en résulte toujours une quantité de gaz hydrogène qui est la même, et qui est précisément égale à celle que le potassium produit avec l'eau.

Selon qu'on échauffe plus ou moins la matière verte, on retire une plus ou moins grande quantité de gaz ammoniac ou de ses principes ; mais on ne peut en retirer qu'environ les trois cinquièmes de ce que le potassium en a absorbé : le premier cinquième s'en dégage à une douce chaleur et sans se décomposer ; le deuxième cinquième ne se dégage qu'à une chaleur plus élevée et en se décomposant en partie, et enfin le troisième exige plus de chaleur encore, et se décompose en entier ; mais le gaz qui en résulte réprésente les principes de l'ammoniaque dans leurs justes proportions.

En traitant la matière verte-olivâtre par une petite quantité d'eau chaude, on n'en retire que de la potasse et du gaz ammoniac ; et la quantité de ce gaz est précisément égale à celle que le potassium a fait disparaître pour se changer en matière verte, pourvu qu'un excès d'eau n'en retienne pas en dissolution.

Le sodium présente avec le gaz ammoniac des phénomènes parfaitement analogues : la quantité de gaz ammoniac absorbé varie en raison de la température ; mais la quantité de gaz hydrogène dégagé est constante et toujours égale à celle que le sodium donne avec l'eau.

Les sels alcalins, terreux et métalliques, ont été soumis à

l'action du potassium : au moyen de différens degrés de chaleur, il a enlevé l'oxigène à tous ceux de ces sels qu'on sait en contenir, et il a été converti le plus souvent en potasse, et rarement en oxide au minimum et au maximum. Le sodium a produit des phénomènes analogues, mais il a exigé un peu plus de chaleur.

Un grand nombre d'expériences dont les produits sont présentés en tableau, fait voir que le potassium et le sodium ont la propriété de décomposer, à l'aide de la chaleur, toutes les substances végétales et animales ; mais la confusion des produits qui en résultent a enlevé aux auteurs l'espérance de pouvoir, par cette méthode, déterminer la proportion des principes qui constituent ces substances : cependant elle les a conduits à un autre procédé dont nous verrons les heureuses applications dans le second volume.

La troisième partie de l'ouvrage commence le second volume par les expériences que les auteurs ont faites sur l'acide fluorique.

Ils les ont tellement multipliées et conduites si heureusement, qu'ils ont dû retracer l'histoire presque complète de cet acide.

Au moyen des précautions qu'ils décrivent, et sur-tout en opérant sur du fluate de chaux parfaitement privé de silice, ils sont parvenus à obtenir l'acide fluorique dans un degré inconnu de pureté et de concentration.

Il faut conserver cet acide à l'abri du contact de l'air, dans lequel il s'évapore abondamment en se combinant à l'eau hygrométrique. Il exerce sur l'eau une action beaucoup plus vive que l'acide sulfurique le plus concentré : il charbonne les substances végétales et animales, il désorganise la peau

par le simple contact d'une manière beaucoup plus énergique et plus dangereuse que les autres acides ; il détruit le verre très-promptement, et se combine avec le silice qu'il en extrait, et prend par-là une plus grande disposition gazeuse : de-là vient que, si le fluate de chaux contient de la silice, on ne peut l'obtenir dans l'état liquide qu'en saturant l'eau de gaz fluorique silicé, et par conséquent dans un état de concentration beaucoup plus faible que celui dont il est question.

Le potassium produit une vive détonnation avec l'acide fluorique, et ce n'est qu'en faisant parvenir peu-à-peu cet acide sur le potassium, que les auteurs ont pu recueillir les produits de son action. Ils en ont retiré beaucoup de gaz hydrogène et du fluate acide de potasse dans l'état liquide ; ce qui prouve que l'acide fluorique préparé avec un acide sulfurique très-concentré, contient une proportion considérable d'eau, mais cet acide ne peut être décomposé par ce procédé.

C'est presque uniquement à Schéele que l'on doit, avec la découverte de l'acide fluorique, la connaissance des fluates à base alcaline et à base métallique, ainsi que celle des sels triples dans lesquels la silice entre comme partie constituante : les auteurs donnent une description nouvelle, plus étendue et plus exacte de ces combinaisons, ils y ont joint celle des terres inconnues au temps de Schéele : nous nous bornerons à quelques-unes de leurs observations.

Pour préparer le fluate de glucine, ils ont mêlé du fluate un peu acide de potasse et du muriate très-sensiblement acide de glucine. Le fluate de glucine s'est précipité en se formant ; mais la liqueur est devenue alcaline. Le sel qui

s'était précipité ayant été dissous dans l'eau, au moyen de l'ébullition, n'a donné aucun indice d'acidité : l'yttria et la zircone ont présenté des phénomènes semblables. Voilà donc des combinaisons qui diffèrent de tous les autres sels, dans lesquelles l'état de neutralisation reste constant après l'échange des bases.

L'action de l'acide borique sur le fluate de chaux a surtout donné lieu à des observations intéressantes.

Desirant d'obtenir l'acide fluorique sans eau, MM. Gay-Lussac et Thénard firent, dans un canon de fusil, un mélange d'une partie d'acide borique pur et vitrifié, et de deux parties de fluate de chaux très-pur. On se sert d'un fourneau à réverbère ; on échauffe peu-à-peu ; aussi-tôt que l'appareil commence à rougir, il s'en dégage des vapeurs épaisses qu'on reçoit sur le mercure ; c'est un gaz composé d'acide fluorique et d'acide borique, que les auteurs désignent par le nom d'acide fluoborique.

Ce gaz a une odeur qui ressemble à celle du gaz fluorique, il se saisit comme lui de l'eau hygrométrique, il rougit les couleurs bleues végétales ; mais il n'attaque pas le verre. Il charbonne les substances végétales et animales ; mais on peut le toucher sans être brûlé ; il transforme l'alcool en un véritable éther ; il s'absorbe abondamment dans l'eau, en sorte qu'il en faut une grande quantité pour la saturer, et alors c'est un acide très-fumant et très-énergique.

L'acide fluoborique se combine avec les diverses bases, soit alcalines, soit métalliques ; il forme probablement avec elle des sels triples dont les auteurs n'ont pas encore eu le loisir d'examiner les propriétés ; mais en poussant au feu le fluoborate d'ammoniaque, ils en ont chassé l'acide fluorique,

et ils ont eu pour résidu l'acide borique ; ce qui leur a fait connaître la composition de cet acide.

Le potassium et le sodium brûlent avec vivacité dans le gaz fluoborique ; il résulte de cette combustion un corps solide, composé de fluate de potasse ou de soude, qui se dissout dans l'eau, et qui laisse du bore. Quelques apparences ont fait conjecturer que ce bore était mêlé avec une petite quantité du radical de l'acide fluorique.

Poursuivant leurs recherches sur les moyens de décomposer l'acide fluorique, les auteurs se sont convaincus que l'on ne pouvait le séparer de sa base sans lui présenter un corps avec lequel il puisse entrer en combinaison, et tel que l'eau, l'acide borique ou la silice : mais celui qui contient de l'eau ne peut servir aux expériences dans lesquelles on se propose de le décomposer ; et celui qui est combiné avec la silice, sous forme de gaz, a mieux rempli leurs vues que le gaz fluoborique.

Le potassium n'est pas attaqué à froid par le gaz fluorique silicé, mais si on le met en fusion au milieu de ce gaz, il brûle avec vivacité ; il ne se dégage presque point de gaz hydrogène, mais on obtient une matière solide de couleur brune.

Cette matière étant mise dans l'eau, il s'en dégage très-lentement une quantité de gaz hydrogène qui est à-peu-près égale à celle qu'aurait donnée rapidement le potassium : si on la met en contact avec l'air, elle y brûle avec vivacité. Les auteurs l'ont soumise à diverses expériences, desquelles ils concluent qu'elle est composée de fluate acide de potasse et de silice, et d'une combinaison du radical de l'acide fluorique avec la potasse et la silice ; mais ils ne sont pas par-

venus à lever tous les doutes sur l'existence de ce radical, et à constater ses propriétés ; parce qu'ils n'ont pu l'obtenir dans un état d'isolément.

Le sodium a présenté des phénomènes analogues ; mais la substance solide qui résulte de son action dégage avec l'eau beaucoup plus d'hydrogène que la précédente.

Les auteurs nous conduisent à des recherches dont l'objet est différent, mais qui n'offrent pas moins d'intérêt; et d'abord ils s'occupent de la question de savoir quels sont les gaz qui peuvent contenir de l'eau en combinaison, et s'il y en a qui soient nécessairement privés de l'eau hygrométrique.

Ils se sont servis, pour reconnaître l'eau hygrométrique des gaz, de la propriété qu'ils avaient trouvée dans le gaz fluoborique, de s'emparer de l'eau hygrométrique des gaz, en formant une vapeur épaisse qui se précipite.

En effet, le gaz fluoborique a conservé toute sa transparence dans les gaz desséchés par des moyens efficaces ; mais il suffit d'y introduire un cinquantième d'un gaz humide, pour qu'il se forme immédiatement un nuage sensible.

Ils ont mis successivement en contact sur le mercure, chaque gaz avec les différentes substances qui absorbent l'humidité, et quelque temps après, ils y ont fait passer du gaz fluoborique, ils ont reconnu par-là les substances qui possèdent la propriété d'enlever toute l'eau hygrométrique ; mais il y a des gaz dans lesquels, sans dessiccation préliminaire, l'acide fluoborique ne laisse apercevoir aucune eau hygrométrique ; ce sont ceux qui sont extrêmement solubles dans l'eau ; ils remarquent qu'ils ne peuvent en contenir la plus petite quantité, parce qu'aussitôt qu'ils sont en contact avec l'eau, celle-ci les absorbe: tels sont sur-tout le gaz muriatique et le gaz fluoborique.

Le gaz acide muriatique, même extrait de l'eau qui le tenait en dissolution, et recueilli dans une cloche sur le mercure, n'a pas produit le plus léger nuage avec le gaz fluoborique.

Extrait du muriate de soude par l'acide sulfurique, et conduit dans un petit flacon, auquel était adapté un tube recourbé plongé dans un mélange réfrigérant, ce gaz n'a point déposé d'eau dans ce tube, quoiqu'il en ait passé une grande quantité.

On a rempli plusieurs flacons de gaz acide muriatique, préparé de manière qu'il devait être privé d'eau ; on a mis dans chaque flacon une seule goutte d'eau ; mais loin de s'évaporer, elle s'est accrue, parce qu'elle a condensé du gaz acide.

Des expériences analogues ont donné les mêmes résultats avec le gaz fluoborique.

Les auteurs examinent ensuite s'il est quelque gaz qui contienne de l'eau combinée ; ils ont soumis à leur examen le gaz hydrogène sulfuré, le gaz acide carbonique, le sulfureux, le nitreux, le gaz oxide d'azote, le fluoborique, le fluorique silicé, le muriatique et le muriatique oxigéné, et ils prouvent par les circonstances de leur formation et de leur décomposition, et par les produits de l'action d'autres corps dont la nature est bien déterminée, qu'il n'y a parmi tous ces gaz que le muriatique dans lequel on puisse admettre de l'eau combinée ; ils ont rendu sensible l'existence de cette eau, en combinant le gaz muriatique avec l'oxide vitreux de plomb, car il en résulte du muriate de plomb et de l'acide muriatique contenant beaucoup d'eau.

Plusieurs expériences établissent ensuite que cette eau est

essentielle au gaz muriatique, en sorte qu'on ne peut le dégager d'une combinaison, à moins qu'on ne lui rende l'eau dont il était privé dans cette combinaison, ou qu'il ne puisse s'en former dans le procédé. Nous nous arrêterons à ces expériences aussi curieuses par leurs résultats immédiats que par leurs conséquences.

Un mélange de parties égales de muriate d'argent et d'acide borique nitreux exposé à un grand feu, ne laisse point dégager de gaz muriatique ; mais si l'on fait passer de la vapeur d'eau à travers ce mélange, il s'en dégage une grande quantité à une chaleur beaucoup plus faible.

Un mélange de charbon qui avait été fortement poussé au feu de forge et de muriate d'argent, a d'abord donné un peu de gaz muriatique, mais celui-ci a bientot cessé de se dégager, quoique le feu ait été violent ; mais si on ajoute de l'eau au mélange, le muriate d'argent est promptement décomposé. Si l'on fait l'expérience dans un tube de porcelaine, on ne retire point de gaz muriatique ; mais si l'on y introduit de la vapeur d'eau, il s'en dégage aussi-tôt une grande quantité.

La petite quantité de gaz muriatique qu'on obtient dans le commencement de l'expérience, en employant le charbon le plus fortement calciné, fait voir que ce charbon contient encore un peu d'hydrogène qui forme de l'eau avec l'oxigène de l'oxide d'argent; et comme le carbure de fer ou plombagine substitué au charbon fait dégager du gaz muriatique, les auteurs ont dû en conclure qu'il contient aussi de l'hydrogène : ce qui le confirme, c'est que si l'on se sert d'un charbon hydrogéné, on obtient facilement le gaz muriatique, et le muriate d'argent est réduit.

Comme le gaz muriatique doit recevoir de l'eau dans

sa constitution, il était important de déterminer ce qui se passe lorsque le gaz muriatique oxigéné passe à l'état d'acide muriatique.

Les auteurs font voir que les substances qui paraissent exercer l'action la plus forte sur l'oxigène, ne peuvent décomposer le gaz muriatique oxigéné bien sec, à moins qu'elles ne puissent lui donner de l'eau, ou lui fournir de l'hydrogène qui formera de l'eau : ainsi, en faisant passer le gaz muriatique oxigéné sec à travers de la poudre de charbon fortement poussée au feu, il n'y a eu qu'une petite partie de gaz muriatique oxigéné qui ait été changée en gaz muriatique au commencement de l'opération ; mais lorsque l'hydrogène que retient le charbon a été épuisé, le gaz muriatique oxigéné n'a plus souffert d'altération, quoique la température fût très-elevée ; au contraire le charbon hydrogéné le décompose facilement.

Cette propriété de l'acide muriatique étant reconnue, il est facile de prévoir les cas où l'acide muriatique peut être dégagé de ses combinaisons, et ceux où il y restera fixé.

Cette puissance de l'eau sur l'acide muriatique est même si grande, que les muriates terreux et secs qui ne peuvent point être décomposés à la plus haute température par l'acide borique ou le phosphate acide de chaux vitrifiés, le sont par l'eau seule au-dessous du rouge-cerise.

Cette action de l'eau, dans les cas où elle ne suffirait pas pour opérer la décomposition d'un muriate, peut être secondée par l'action d'une autre substance sur la base : les auteurs ont fait à ce sujet une observation qui pourra avoir des applications utiles ; ils ont éprouvé que la vapeur d'eau dégageait beaucoup de gaz muriatique d'un mélange de

deux parties de sable très-fin et d'une partie de muriate de soude. L'alumine, la glucine, et en général toutes les bases qui ont de l'affinité pour la soude, agissent de même. Le muriate d'argent qu'on a exposé à une chaleur rouge dans un tube de porcelaine, abandonne beaucoup de gaz muriatique, lorsque l'on y fait passer de la vapeur d'eau : non parce que l'eau le dégage par sa seule action, mais parce que l'oxide d'argent se vitrifie en même temps avec le tube de porcelaine.

Les muriates de mercure ont présenté avec le charbon calciné, avec le charbon hydrogéné et avec l'acide borique, des phénomènes parfaitement analogues à ceux qui avaient été obtenus du muriate d'argent.

Il ne suffisait pas d'avoir établi que l'on doit admettre dans le gaz muriatique une certaine quantité d'eau ou de ses principes constituans, mais il était intéressant de reconnaître encore la proportion de cette eau.

Pour remplir cet objet, les auteurs ont commencé par déterminer avec un grand soin la proportion d'oxigène qui se trouve dans l'oxide d'argent ; ils la fixent à 7, 6 d'oxigène contre 100 d'argent.

Ils ont ensuite reçu dans un flacon dans lequel ils avaient placé un poids déterminé d'oxide d'argent et d'eau, une certaine quantité de gaz muriatique : la différence du poids de ce gaz avec le poids d'acide qui s'est fixé sans eau avec l'oxide d'argent, est due à l'eau abandonnée par l'acide muriatique. Le résultat de l'expérience est que le gaz muriatique contient à-peu-près un quart de son poids d'eau.

Ce résultat a été confirmé par les produits de la décomposition du gaz muriatique oxigéné par le gaz hydrogène;

mais pour constater ces produits, il a fallu parvenir, par des moyens très-délicats, à déterminer la pesanteur spécifique du gaz muriatique oxigéné qui est de 2,470; la proportion d'oxigène qu'il contient, qui est la moitié de son volume, la quantité d'hydrogène nécessaire pour le changer en gaz muriatique, et cette quantité est un volume égal; par cette décomposition on obtient un volume de gaz muriatique égal à celui des deux gaz dont il provient, sans qu'il se dépose de l'eau; ce qui s'accorde avec les pesanteurs spécifiques de ces différentes substances : il s'ensuit que l'acide muriatique oxigéné tient précisément la quantité d'oxigène qui doit être changée en eau pour former le gaz muriatique.

Puisque l'acide muriatique ne peut exister à l'état de gaz sans eau, et que quand il n'en contient point, il fait toujours partie de quelque combinaison, le gaz muriatique oxigéné ne doit être décomposé que par les corps qui, comme les métaux et le soufre, peuvent absorber ses deux principes, ou par ceux qui peuvent se combiner avec l'acide muriatique sec, ou enfin par ceux qui contiennent de l'eau ou de l'hydrogène qui peut former de l'eau avec l'oxigène de l'acide muriatique oxigéné.

On sait en effet que les métaux absorbent le gaz muriatique oxigéné, et qu'ils sont changés par-là en muriates métalliques; d'où l'on doit conclure qu'il contient exactement la quantité d'oxigène propre à convertir les métaux en muriates.

Le soufre forme en se combinant avec l'acide muriatique oxigéné, une liqueur composée de soufre, d'oxigène et d'acide muriatique, qui a été découverte par Thomson; et les

auteurs font voir que c'est cette même liqueur qui se forme plus ou moins rapidement lorsqu'on projette des sulfures métalliques dans le gaz muriatique oxigéné.

Le phosphore et les phosphures produisent des phénomènes et une liqueur analogues, dont les auteurs décrivent les propriétés dans la suite de l'ouvrage.

La décomposition de l'acide muriatique oxigéné par les corps qui peuvent se combiner avec l'acide muriatique sec, a donné lieu à des phénomènes remarquables. Lorsqu'on fait passer ce gaz à travers la chaux, dans un tube de porcelaine, et lorsqu'on amène ce tube à l'état rouge, il se dégage une grande quantité de gaz oxigène; il n'y a qu'une petite partie du gaz muriatique oxigéné qui échappe à la décomposition, sans doute parce qu'elle ne s'est pas trouvée en contact avec la chaux. Après l'expérience on trouve du muriate de chaux sec. La magnésie bien sèche a aussi décomposé le gaz muriatique oxigéné, et sans doute d'autres terres et quelques oxides métalliques qui peuvent se combiner avec l'acide muriatique sans eau, ont la même propriété.

Nous arrivons à la décomposition de l'acide muriatique oxigéné, qui a lieu par l'action de l'eau et des substances hydrogénées.

Si on fait passer en même temps de l'eau en vapeur et du gaz muriatique oxigéné à travers un tube rouge, il en résulte du gaz muriatique liquide, et un dégagement de gaz oxigène.

Lorsqu'on met le gaz muriatique oxigéné en contact avec des substances hydrogénées, il est décomposé, comme on l'a vu, pour le gaz hydrogène et le charbon hydrogéné;

c'est ainsi qu'il est décomposé par le gaz hydrogène sulfuré, phosphuré, carburé, arséniqué, et avec toutes les substances végétales et animales.

Les gaz sulfureux, oxide de carbone, oxide nitreux, oxide d'azote, bien desséchés par le moyen de la chaux, et mêlés avec le gaz muriatique oxigéné, n'ont point subi d'altération par l'action de la lumière; mais en y ajoutant un peu d'eau, le gaz muriatique oxigéné est promptement décomposé : il en a été de même avec le bore et les sulfites de chaux et de barite.

Après avoir examiné les effets de l'action du gaz muriatique oxigéné dans les différentes circonstances, les auteurs font des observations sur la nature même de ce gaz.

Quand ils eurent observé que le gaz muriatique oxigéné n'était pas décomposé par le charbon privé d'hydrogène, ils conclurent de ce fait et de quelques autres, que l'on peut supposer que ce gaz est un corps simple, et que les phénomènes qu'ils présente s'expliquent assez bien dans cette hypothèse : *Nous ne chercherons cependant point à la défendre,* dirent-ils, *parce qu'il nous semble qu'ils s'expliquent encore mieux, en regardant l'acide muriatique oxigéné comme un corps composé.* Cette idée, qu'ils présentèrent en février 1809, a depuis été adoptée et soutenue, notamment par M. Davy; ils rappellent sommairement tous les faits établis par l'observation sur l'action du gaz muriatique oxigéné; ils font voir comment on peut les expliquer, et particulièrement ceux qui appartiennent à M. Davy, en se servant de l'une et de l'autre hypothèse; et après avoir balancé la double explication, ils persistent à croire

que ces faits s'expliquent mieux en regardant le gaz acide muriatique oxigéné comme un corps composé.

En effet, pour considérer le gaz muriatique oxigéné comme un être simple, il faut supposer que l'acide muriatique ordinaire est une combinaison d'hydrogène et d'acide muriatique oxigéné ; que les muriates métalliques sont d'une nature entièrement différente, non-seulement des autres sels métalliques, mais de ces muriates même lorsqu'ils sont disssous dans l'eau : il faut supposer que la chaux et la magnésie cèdent l'oxigène que quelques expériences y font admettre, pour se combiner dans l'état métallique avec le gaz muriatique oxigéné, et que le gaz se combine avec l'oxigène que lui cède l'eau, pour passer à l'état suroxigéné, et ces suppositions ne suffisent pas à toutes les explications.

Dans l'autre hypothèse, c'est-à-dire, en admettant que l'oxigène peut se combiner avec l'acide muriatique, comme il se combine avec les métaux et avec toutes les substances combustibles, toutes les explications sont naturelles et parfaitement analogues à celles que reçoivent les autres faits dans lesquels il se fait un transport d'oxigène d'une substance dans une autre : seulement les observations nouvelles font voir que, pour que le gaz muriatique oxigéné soit changé en gaz muriatique, il faut que celui-ci puisse recevoir une proportion d'eau nécessaire à sa constitution ; ce qui s'accorde avec la puissance de combinaison, qui est très-grande dans l'acide muriatique.

Il n'est pas inutile de remarquer que lorsqu'il s'agit de la nature des corps, du mode de leurs combinaisons et des changemens qui peuvent se faire dans les élémens qui vien-

nent les composer, ou dans ceux qui résultent de leur décomposition, il est facile de multiplier les hypothèses; mais celles qui s'appuient le plus sur l'analogie, et qui exigent le plus petit nombre de suppositions pour enchaîner les faits, de manière que l'esprit en saisisse facilement les rapports, doivent être maintenues, sans confondre leurs applications avec les faits eux-mêmes constatés par la balance et la mesure, et avec les inductions qui en dérivent immédiatement.

Après cette discussion, les auteurs décrivent les propriétés d'une liqueur qu'ils ont formée par la combinaison du phosphore, de l'acide muriatique et de l'oxigène, et qui est analogue à celle que Thomson avait produite par la combinaison du soufre avec l'oxigène et l'acide muriatique.

Ils s'occupent ensuite de l'action de l'eau dans la décomposition de plusieurs corps, et notamment des sels.

On a vu que l'acide muriatique ne pouvait être séparé des bases qui le retiennent sans eau, que par des moyens propres à fournir l'eau nécessaire au gaz muriatique, en sorte que l'eau agit dans la décomposition des muriates par sa tendance à se combiner avec l'acide muriatique; d'autres acides, tels que l'acide nitrique, l'acide sulfurique et l'acide fluorique, exigent aussi de l'eau pour exister dans l'état liquide : on ne pourra donc les séparer des bases qui les retiennent sans eau, à moins qu'on ne leur en fournisse ; mais il est d'autres sels dont l'acide n'exige point d'eau, et dont la décomposition exige cependant l'action de l'eau, ou du moins se fait beaucoup plus facilement par son influence : tels sont les carbonates. Les auteurs font voir qu'alors c'est à la tendance à se combiner avec les bases mêmes, que l'eau doit son efficacité.

Depuis long-temps l'intervention de la lumière, dans les phénomènes chimiques, avait fixé l'attention. M. de Rumfort avait prouvé, par la réduction de l'or et de l'argent, mis en contact avec le charbon, l'éther et les huiles, que la lumière solaire produisait un effet semblable à celui d'une chaleur de 100 degrés ; mais la décomposition de l'acide muriatique oxigéné, qui a lieu par l'action de la lumière, et non par celle d'une faible chaleur, semblait s'opposer, ainsi que la décomposition de l'acide nitrique, à une application générale du principe établi par M. de Rumfort.

MM. Gay-Lussac et Thenard ont fait disparaître cette difficulté; ils prouvent que le mélange du gaz muriatique oxigéné et du gaz hydrogène ne reçoit point d'altération dans l'obscurité, mais que le gaz muriatique oxigéné se décompose lentement à une lumière diffuse, qu'il y a une détonation instantanée, lorsque le mélange est exposé à la lumière vive du soleil, et qu'un corps échauffé à 125 ou 130 degrés du thermomètre produit le même effet : les gaz hydrogènes composés se sont comportés de même, en déposant une quantité plus ou moins grande de charbon.

Le gaz muriatique oxigéné qu'on fait passer avec de la vapeur d'eau dans un tube échauffé à-peu-près à ce degré, est aussi décomposé : d'où l'on doit conclure que lorsque la lumière décompose l'acide muriatique oxigéné, elle agit de même. L'acide nitrique concentré se décompose à une chaleur même inférieure : sa décomposition par la lumière doit donc recevoir la même explication. Les auteurs font voir qu'elle doit également s'appliquer aux changemens qu'éprouvent quelques oxides métalliques, lorsqu'on les expose à la lumière.

Enfin, ils font voir que la chaleur produit sur les couleurs végétales et animales les mêmes altérations que la lumière, d'où il résulte qu'en exposant, pendant une heure ou deux, à une chaleur de 180 à 200 degrés, une étoffe teinte, on peut prévoir, par l'altération qu'elle éprouve, la manière dont elle résistera dans l'usage, à l'action de la lumière; mais la décomposition des parties colorantes est accélérée par la vapeur de l'eau.

Ayant besoin de connaître pour différentes déterminations la proportion d'eau retenue dans la potasse et la soude préparée par le moyen de l'alcool, les auteurs se sont servis de trois moyens pour y parvenir: de la saturation de ces bases alkalines par l'acide carbonique qui en chasse l'eau, de leur combinaison avec la silice, et de la combinaison avec l'acide sulfurique, d'un poids donné de potassium et de sodium réduits en potasse et soude par le gaz oxigène: ils adoptent pour résultat que la potasse retient un cinquième de son poids d'eau, et la soude un quart. Cependant, les différens moyens qu'ils ont employés ne donnent pas des résultats assez rapprochés pour qu'on puisse regarder cette détermination comme rigoureuse.

Ils terminent le genre de recherches dont ils se sont occupés jusqu'ici, par une discussion sur la nature du potassium et du sodium. Comme cette discussion inspire dans ce moment un grand intérêt, nous nous y arrêterons particulièrement.

Lorsque M. Davy découvrit le potassium et le sodium, il les regarda comme des métaux, et il fonda sur cette supposition, que nous appellerons hypothèse des métaux, toutes les explications des phénomènes qu'ils lui présentèrent.

Il s'éleva une autre opinion dans laquelle on considéra le potassium et le sodium comme des hydrures; nous la désignerons par l'hypothèse des hydrures : les auteurs la regardèrent d'abord comme la plus probable; mais la suite de leurs expériences les a décidés pour la première.

On suppose, dans la première hypothèse, que, lorsque la potasse est exposée à l'action de l'électricité voltaïque, l'oxigène qui la réduisait en oxide se sépare et est transporté au pôle positif, pendant qu'un métal pur reste sous l'influence du pôle négatif.

Dans la seconde, on pense que l'oxigène de l'eau qui se trouve unie à la potasse, est porté au pôle positif, pendant que son hydrogène se combine avec la potasse privée d'eau, comme il se combine effectivement avec le tellure, l'arsenic et l'azote, qui, étant tenu en dissolution dans l'eau, forme, par l'action de l'électricité voltaïque, des hydrures de tellure et d'arsenic, et de l'ammoniaque, qui est un véritable hydrure.

On peut encore donner pour exemple d'une pareille combinaison, l'amalgame d'ammoniaque, de mercure et d'hydrogène, qui a beaucoup de rapport avec le potassium et le sodium par l'apparence métallique et par la légèreté.

Les auteurs exposent ici les motifs qui paraissent appuyer chacune des deux hypothèses, et ce n'est qu'après les avoir contre-balancés, qu'ils restent attachés à celle des métaux : nous croyons seconder leurs vues, en soumettant quelques considérations sur l'hypothèse qu'ils ont cru devoir adopter.

Ce n'est pas que nous mettions une grande importance dans le choix de l'une des deux hypothèses, puisque l'une et l'autre donnent des explications satisfaisantes des mêmes

faits, et que parmi ces faits, il n'y en a pas qui puissent décider entièrement la question; mais il est utile de prévenir les conséquences outrées que quelques personnes pourraient tirer de l'une ou de l'autre hypothèse, admise comme une vérité physique.

Une expérience qui nous paraît très-imposante en faveur de l'hypothèse des métaux, est celle par laquelle, en combinant une quantité d'oxigène avec le potassium, on forme une quantité de potasse dont le poids équivalent à celui du potassium et de l'oxigène absorbé, produit, par exemple, avec le gaz sulfureux qui ne contient pas d'eau, un sulfite dans lequel l'expérience n'en fait pas découvrir. Les auteurs se sont principalement servis, pour prouver ce fait, de la potasse qu'ils regardent comme étant au troisième degré d'oxidation.

Il est naturel de regarder d'abord comme une conséquence immédiate de ce fait, que le potassium, substance simple, plus l'oxigène, forment la potasse, et c'est sur des résultats pareils que repose toute la théorie chimique moderne; mais le potassium a des propriétés qui peuvent peut-être se concilier difficilement avec cette hypothèse, et qui s'expliquent plus naturellement en lui supposant une composition telle qu'on en connaît plusieurs analogues, et qui se forment dans des circonstances pareilles. Nous reviendrons sur le fait dont il est question.

Parmi les principaux motifs favorables à l'hypothèse des hydrures, les auteurs placent :

1° La densité du potassium et du sodium moindre que celle de l'eau, et, à plus forte raison, que celle de la potasse et de la soude; mais ils observent que l'on ne peut, par aucune preuve rigoureuse, faire voir que les alkalis secs ont une

plus grande densité que l'eau; qu'il n'est pas de l'essence des métaux d'avoir une grande pesanteur spécifique, et que, quoique l'oxigène diminue la pesanteur spécifique des métaux qui en ont beaucoup, il peut, au contraire, augmenter celle des métaux alkalins qui en ont peu.

Il n'existe dans la nature que des métaux isolés; les idées générales que nous nous formons sur leurs propriétés ne sont que le résultat des observations que nous avons faites sur chacun d'eux : nous ne pouvons effectivement prétendre qu'il ne peut exister des substances simples qui, avec une grande légèreté spécifique, méritent par leurs propriétés d'être classées parmi les métaux; mais lorsqu'il s'agit de juger si on doit regarder comme simple et de nature métallique une substance qui fait un saut brusque dans une propriété inhérente à tous les métaux connus jusqu'à présent, cette dissemblance a quelque poids.

La légèreté spécifique du potassium que nous prenons sur-tout pour objet de nos réflexions, présente une difficulté bien plus grave.

On ne peut à la vérité montrer rigoureusement quelle est la pesanteur spécifique de la potasse pure, lorsqu'on suppose qu'on ne la connaît que dans un état de combinaison; cependant il est très-probable qu'elle est fort supérieure à celle de l'eau : on a trouvé que celle du carbonate de potasse était à celle de l'eau comme 2, 3 : 1; mais on ne peut pas supposer que l'acide carbonique prenne, en se condensant, une pesanteur spécifique qui s'éloigne beaucoup de celle de l'eau, d'autant plus qu'une moitié de cet acide adhère fort peu à la base du carbonate; pareillement, on ne peut pas supposer que les $\frac{17}{100}$ d'oxigène qui doivent s'être combinés

avec le potassium, s'éloignent assez de la pesanteur spécifique de l'eau pour produire un effet sensible. Il résulterait de ces données, que la pesanteur spécifique du potassium, tel qu'on le suppose dans la combinaison qui forme le carbonate de potasse, devrait approcher de celle même de ce sel, c'est-à-dire de 2, 3 : 1; or, dans l'état où nous le connaissons, il n'a pas le tiers de cette pesanteur spécifique. On n'a point d'exemple d'une telle augmentation de pesanteur spécifique dans un corps solide qui entre en combinaison.

Si l'on suppose que le potassium ait reçu une certaine proportion d'hydrogène, on a une explication naturelle de sa légèreté ; et l'expérience fait voir que l'amalgame de mercure et d'ammoniaque doit sa grande légèreté à l'hydrogène que les auteurs ont prouvé exister dans sa combinaison.

L'hydrogène expliquerait encore la grande volatilité dont jouit le potassium, pendant que la potasse paraît absolument fixe ou n'avoir que cette volatilité qui dépend des gaz avec lesquels les corps solides se trouvent en contact.

2° La propriété qu'ont le potassium et le sodium de donner avec le gaz ammoniacal et avec le gaz hydrogène sulfuré, précisément la même quantité de gaz hydrogène qu'avec l'eau.

Pour expliquer ce second fait, M. Davy avait prétendu que tous les corps ayant entre eux des rapports constans de saturation, c'est une conséquence nécessaire que le potassium dégage la même quantité d'hydrogène avec l'eau, le gaz ammoniac et l'hydrogène sulfuré : les auteurs font voir que cette explication ne s'accorde pas avec d'autres faits, ils n'en substituent point d'autre ; toutefois ils concluent qu'*une objection qui n'a pour elle que la singularité d'un fait nou-*

veau qui s'écarte d'un fait connu, ne repose pas sur une base assez solide.

Cette réflexion ne fait pas disparaître la difficulté qui naît, pour l'hypothèse des métaux, de la quantité précisément égale de gaz hydrogène qui se dégage dans l'action du potassium sur l'eau, sur le gaz hydrogène sulfuré et sur le gaz ammoniac : cette coïncidence de produits dans trois cas si différens, nous paraît avoir un grand poids dans l'évaluation des probabilités de chacune des deux hypothèses.

3° La propriété qu'ont le potassium et le sodium d'absorber le gaz hydrogène à une température un peu élevée, et de n'absorber le gaz azote à aucune température.

On a vu que, dans l'action du potassium sur le gaz ammoniac, il se forme une substance d'une couleur olive; lorsqu'on soumet cette substance à la chaleur, il se dégage trois cinquièmes de l'ammoniaque ou de ses élémens; dans l'hypothèse des hydrures, on suppose que deux cinquièmes de l'ammoniaque restent alors combinés avec le potassium privé de son hydrogène; et dans celle des métaux, on suppose que tout l'hydrogène de l'ammoniaque a été chassé, et qu'il n'est resté que de l'azote en combinaison avec le potassium; il s'agit d'examiner s'il est probable que l'azote puisse former une combinaison assez puissante avec le potassium, pour chasser tout l'hydrogène et rester seul.

Nous avons d'une part à considérer la puissance de combinaison de l'hydrogène, et d'autre part celle de l'azote. De toutes les substances connues, c'est l'hydrogène qui montre la plus grande puissance d'affinité : il suffit pour s'en convaincre de considérer sa force réfringente, le pouvoir qu'il exerce sur l'oxigène, dont il fait disparaître les

propriétés caractéristiques par une petite proportion, et les combinaisons nombreuses qu'il forme dès que les circonstances sont favorables ; et pour ne pas s'écarter des métaux, on connaît des combinaisons qu'il forme avec eux : bien plus, les auteurs ont fait voir que dans l'état élastique même, il pouvait, dans une certaine étendue de l'échelle thermométrique, former une combinaison avec le potassium et le sodium.

L'azote au contraire n'entre que dans un petit nombre de combinaisons peu stables, et jusqu'ici on n'a pu en former aucune combinaison avec les métaux, soit dans l'état de gaz, soit dans *l'état naissant;* les auteurs eux-mêmes ont en vain tenté de le combiner avec le potassium et le sodium.

Il nous paraît donc plus naturel de faire intervenir dans une combinaison l'action de l'hydrogène ou de l'ammoniaque, que celle de l'azote seul.

Après avoir discuté les motifs que l'on peut alléguer en faveur de l'hypothèse des hydrures, les auteurs exposent ceux qui ont décidé leur préférence.

Nous ne pouvons même indiquer toutes les raisons dont ils se servent pour appuyer l'hypothèse de la nature métallique du potassium et du sodium : il est juste que ceux qui voudront porter un jugement sur cette question, aient recours à l'ouvrage. Nous nous bornerons aux considérations qui paraissent avoir le plus de poids.

1° L'éclat métallique, l'opacité et la propriété conductrice du potassium et du sodium; mais ces caractères avaient paru peu importans aux auteurs eux-mêmes, puisque d'abord ils n'empêchèrent pas la préférence qu'ils donnèrent

à l'hypothèse des hydrures : en effet, il y a tant d'autres substances qui présentent un éclat qu'on peut appeler métallique; le charbon, par exemple, qui se dépose lorsqu'on fait passer les produits des substances végétales à travers un tube incandescent, a cet éclat à un haut degré; il possède aussi l'opacité: de plus, le charbon est un conducteur d'électricité.

2° Leur préparation au moyen de carbonates alcalins parfaitement secs ; à ce chef se rapportent plusieurs observations sur l'état sec des combinaisons alcalines.

Il est certain que pour adopter l'hypothèse des hydrures, il faut nécessairement admettre que les alcalis purs exigent une certaine quantité d'eau, comme le fait le gaz muriatique, et que lorsqu'ils entrent en combinaison, ils retiennent une portion de cette eau que l'action des acides, aidée de celle de la chaleur, ne peut en chasser; mais, dans l'hypothèse des métaux, ne faut-il pas admettre que le potassium et le sodium retiennent dans les mêmes circonstances la quantité d'oxigène qui les réduit au second état d'oxidation ? Et ces deux quantités ne diffèrent entre elles que de la petite proportion d'hydrogène que l'on suppose combinée avec le potassium et le sodium.

Si l'on considère d'un autre côté que les alcalis purs exercent une grande action sur l'eau, en sorte qu'on ne peut leur faire abandonner celle qui s'y trouve incontestablement que par le moyen d'une combinaison, et qu'ils l'attirent en excès et se réduisent en liquides, pendant que ce n'est que dans quelques circonstances qu'ils peuvent attirer l'oxigène, et qu'alors ils le retiennent si faiblement, que le seul contact de l'eau chasse tout ce qui constitue

le dernier degré d'oxidation, il ne paraîtra pas invraisemblable que les alcalis puissent retenir une portion d'eau lorsqu'ils se combinent avec les acides, qui eux-mêmes exercent une action puissante sur l'eau.

3° La grande analogie qu'il y a entre les alcalis et les oxides métalliques. L'ammoniaque, que les auteurs eux-mêmes ne regardent que comme un composé d'hydrogène et d'azote, affaiblit bien cette analogie, si elle ne la fait pas disparaître. Les propriétés chimiques de l'oxide d'arsenic et de l'oxide d'antimoine, relativement aux acides, paraissent assez éloignées de celles de la potasse : plusieurs oxides métalliques forment, avec les alcalis, des combinaisons qui ont assez de stabilité, et qui même cristallisent régulièrement; et on ne connaît point de pareilles combinaisons entre les alcalis, à moins qu'on ne confonde l'alumine et la silice avec les alcalis.

Quoi qu'il en soit, nous passons aux découvertes des auteurs, qui composent la quatrième partie de leur ouvrage.

Cette dernière partie est consacrée à un objet qui n'a pas un rapport immédiat avec les recherches précédentes, mais qui n'a pas moins d'intérêt; c'est une nouvelle analyse des substances végétales et animales, ou une détermination des premiers principes qui entrent dans leur décomposition.

On doit se rappeler que Lavoisier chercha à faire l'application de son importante théorie de la combustion à la composition des substances végétales et animales; il considéra ces substances comme des oxides, dont les uns ont pour base l'hydrogène et le carbone, et les autres l'hydrogène, le carbone et l'azote. Il vit qu'en brûlant ces substances

dans une quantité donnée de gaz oxigène, on pouvait, par l'eau et l'acide carbonique qui se forment, déterminer les principes constituans de la substance soumise à la combustion : il fit ainsi quelques analyses; et si ces analyses n'ont pas l'exactitude à laquelle on est parvenu, on ne peut pas douter que sa méthode n'y puisse conduire.

Depuis lors, cette espèce d'analyse a été trop négligée; cependant on peut citer celle des éthers et de l'alcool, qui ont été portées à une grande précision par une méthode analogue.

Mais il y a plusieurs substances auxquelles la méthode de Lavoisier ne pourrait être appliquée : les auteurs en ont imaginé une qui est aussi ingénieuse que générale.

Il s'agit aussi, dans leur procédé, de reconnaître les principes d'une substance, en la brûlant par le gaz oxigène, et en déterminant la quantité d'oxigène qui a servi à la combustion, la quantité d'acide carbonique et d'eau qui s'est formée, les substances gazeuses qui peuvent s'être dégagées, et les principes fixes qui se trouvent dans le résidu solide.

On obtient tous ces résultats en brûlant la substance qu'on examine par le muriate oxigéné de potasse, dans un appareil qui donne issue aux gaz qui se dégagent par un tube qui plonge sous le mercure.

On fait donc un mélange d'un poids très-exact de la substance et de muriate sur-oxigéné très-sec; on l'introduit dans l'appareil par le moyen d'un robinet qui porte une cavité dans laquelle on a placé ce mélange, auquel on fait subir une chaleur suffisante. Le gaz qui se dégage est conduit sous le mercure ; on mesure ce gaz ; on reconnaît la proportion d'acide carbonique qu'il contient et celle d'azote qui a pu se

dégager avec lui. On sait, d'autre part, combien la quantité de muriate sur-oxigéné employée a dû fournir d'oxigène. On conclut donc de toutes ces valeurs la quantité de carbone, d'oxigène et d'azote que contenaient la substance soumise à l'expérience ; mais le muriate sur-oxigéné a laissé un poids déterminé de muriate de potasse. Si donc la substance renfermait quelque principe fixe, on le trouve avec le muriate de potasse, et on l'en sépare, ou l'on fait une opération particulière, par laquelle on détermine les principes fixes.

Nous ne pouvons qu'indiquer d'une manière générale l'appareil et le procédé des auteurs ; ils en donnent la description avec beaucoup de soin, et ils ne négligent aucune des circonstances qui peuvent influer sur l'exactitude de chaque expérience. Ils ont déja analysé par ce moyen quinze substances végétales ; savoir, les acides oxalique, tartareux, muqueux, citrique et acétique ; la résine de térébenthine, le copal, la cire et l'huile d'olive ; le sucre, la gomme, l'amidon, le sucre de lait, les bois de hêtre et de chêne. Chaque analyse est exposée dans un tableau où sont présentées les quantités de la substance employée, celle des produits, et enfin le résultat du calcul.

Les substances animales, et soumises au même procédé, ont présenté une difficulté à cause de l'azote qui en est une partie constituante. S'il se trouve excès d'oxigène dans l'opération, il se forme du gaz acide nitreux, dont il serait difficile de déterminer la quantité. Il faut, d'un autre côté, éviter qu'il se forme de l'ammoniaque : l'artifice par lequel on prévient ces inconvéniens, consiste à employer une proportion de muriate sur-oxigéné telle, que ce sel ne soit point en excès, et qu'il soit cependant en quantité capable de trans-

former complètement en gaz toute la substance animale ; on détermine facilement cette proportion par des essais préliminaires : ils ont fait ainsi l'analyse de la fibrine desséchée, de l'albumine, de la gélatine, et de la matière caséeuse.

Un résultat très-remarquable de toutes ces analyses termine cet ouvrage si fécond en beaux résultats : c'est que dans le sucre, l'amidon la gomme et les bois, la proportion d'hydrogène et d'oxigène est la même que celle qui constitue l'eau, pendant que dans les substances animales, un excès d'hydrogène se trouve avec l'azote dans les proportions qui constituent l'ammoniaque.

Signé MONGE, HAUY, CHAPTAL, LAPLACE, BERTHOLLET, rapporteur.

MÉMOIRE

SUR DE NOUVEAUX PHÉNOMÈNES D'OPTIQUE.

Par M. MALUS.

Lu le 11 mars 1811.

J'ai annoncé à la fin de 1808 que la lumière réfléchie par tous les corps opaques et diaphanes contractait de nouvelles propriétés très-extraordinaires, et qui la distinguaient essentiellement de la lumière que nous transmettent directement les corps lumineux.

Les observations que je vais avoir l'honneur de rapporter à la Classe, sont une suite de celles que je lui ai communiquées. Je vais donc commencer par rappeler en peu de mots le phénomène principal, afin de jeter plus de jour sur les nouvelles expériences et les nouveaux résultats dont je vais rendre compte. Dirigeons au moyen d'un héliostat un rayon solaire dans le plan du méridien, de manière qu'il fasse avec l'horizon un angle de 19° 10′; fixons ensuite une glace non étamée, de manière qu'elle réfléchisse ce rayon verticalement, et de haut en bas. Si on place au-dessous de cette première glace et parallèlement à elle une seconde glace, celle-ci fera avec le rayon descendant un angle de 35° 25′, et elle le réfléchira de nouveau parallèlement à sa première direction : dans ce cas on n'observera rien de remarquable ; mais si on fait tourner cette seconde glace de manière que sa face soit dirigée vers l'est ou vers l'ouest, sans changer d'ailleurs son

inclinaison par rapport à la direction du rayon vertical, elle ne réfléchira plus une seule molécule de lumière, ni à sa première ni à sa seconde surface ; si, en continuant à lui conserver la même inclinaison, par rapport au rayon vertical, on tourne sa face vers le sud, elle commencera de nouveau à réfléchir la proportion ordinaire de lumière incidente. Dans les positions intermédiaires, la réflexion sera plus ou moins complète, selon que le rayon réfléchi s'approchera plus ou moins du plan du méridien. Dans ces circonstances, où le rayon réfléchi se comporte d'une manière si différente, il conserve néanmoins constamment la même inclinaison, par rapport au rayon incident. Nous voyons donc ici un rayon de lumière vertical qui, tombant sur un corps diaphane, se comporte de la même manière lorsque la face réfléchissante est tournée vers le nord et vers le sud, et d'une manière différente lorsque cette face est tournée vers l'est ou vers l'ouest, quoique d'ailleurs ces faces forment constamment avec la direction verticale de ce rayon un angle de 35° 25'. Ces observations nous portent à conclure que la lumière acquiert dans ces circonstances des propriétés indépendantes de sa direction, par rapport à la surface qui la réfléchit, mais uniquement relatives aux côtés du rayon vertical, et qui sont les mêmes pour les côtés sud et nord, et différentes pour les côtés est et ouest. En donnant à ces côtés le nom de pôles, j'appellerai polarisation la modification qui donne à la lumière des propriétés relatives à ces pôles. J'ai tardé jusqu'à présent à admettre ce terme dans la description des phénomènes physiques dont il est question ; je n'ai pas osé l'introduire dans les Mémoires où j'ai publié mes dernières expériences ; mais les variétés qu'offre ce nouveau phénomène, et la diffi-

culté de les décrire, me forcent à admettre cette nouvelle expression, qui signifie simplement la modification que la lumière a subie en acquérant de nouvelles propriétés qui ne sont pas relatives à la direction du rayon, mais seulement à ses côtés considérés à angles droits et dans un plan perpendiculaire à sa direction. Il est inutile de remarquer que si j'ai choisi ici le plan du méridien, c'est uniquement pour fixer les idées, et que le rayon réfléchi se comporterait de la même manière dans tout autre plan choisi arbitrairement dans l'espace.

Je passe maintenant à la description du phénomène qui fait l'objet de ce Mémoire. Considérons de nouveau l'appareil dont je viens de parler. Si on présente au rayon solaire qui a traversé la première glace, et dont une partie a été réfléchie, un miroir étamé qui la réfléchisse du haut en bas, on obtient un second rayon vertical qui a des propriétés analogues à celles du premier, mais dans un sens directement opposé. Si on présente à ce rayon une glace formant avec sa direction un angle de 35° 25'; et si, sans changer cette inclinaison, on fait alternativement tourner ses faces vers le nord, l'est, le sud et l'ouest, on remarquera les phénomènes suivans : il y aura toujours une certaine quantité de lumière réfléchie par la seconde glace; mais cette quantité sera beaucoup moindre lorsque les faces seront tournées vers le sud et le nord, que lorsqu'elles seront tournées vers l'est et l'ouest. Dans le premier rayon vertical, on observerait exactement le contraire; le minimum de lumière réfléchie avait lieu lorsque la seconde glace était tournée vers l'est et vers l'ouest. Ainsi, en faisant abstraction, dans le second rayon, de la quantité de lumière qui

se comporte comme un rayon ordinaire, et qui se réfléchit également dans les deux sens, on voit que ce rayon contient une autre portion de lumière qui est polarisée exactement dans le sens contraire à celle du rayon vertical réfléchi par la première glace. Si on emploie dans cette expérience un miroir étamé pour disposer les deux rayons parallèlement et dans les mêmes circonstances, c'est afin de rendre l'explication plus claire ; l'action des surfaces n'altérant pas sensiblement le rayon dans cette circonstance, on peut négliger leur influence.

Ce phénomène se réduit en dernière analyse à ceci : lorsqu'un rayon de lumière tombe sur une glace de verre, en formant avec elle une incidence de 35° 25′, toute la lumière qu'elle réfléchit est polarisée dans un sens. La lumière qui traverse la glace est composée, 1° d'une quantité de lumière polarisée dans le sens contraire à celle qui a été réfléchie, et proportionnelle à cette quantité ; 2° d'une autre portion non modifiée, et qui conserve les caractères de la lumière directe. Ces rayons polarisés ont exactement toutes les propriétés de ceux qu'on a modifiés par les cristaux qui donnent la double réfraction ; ainsi ce que j'ai dit ailleurs de ceux-ci peut s'appliquer sans restriction aux premiers.

On peut rendre les phénomènes que nous venons de rapporter plus sensibles, en décomposant par une seconde réfraction la portion de lumière non modifiée qui a traversé la première glace ; il suffit pour cela de faire passer le rayon à travers deux glaces parallèles au lieu d'une seule. Enfin, plus on augmentera le nombre des glaces, plus les propriétés que le rayon acquiert par la réfraction deviendront apparentes, parce que la lumière polarisée par transmission à

chaque passage perd la faculté d'être réfléchie dans les réfractions suivantes, et s'accumule ainsi de plus en plus.

Voici actuellement les résultats généraux qu'on peut déduire des expériences que je viens de rapporter, et qui s'ajoutent à ceux que j'ai déja publiés sur cette matière.

Toutes les fois qu'on produit, par un moyen quelconque, un rayon polarisé, on obtient nécessairement un second rayon polarisé dans un sens diamétralement opposé, et ces rayons suivent des routes différentes. La lumière ne peut pas recevoir cette modification dans un sens, sans qu'une partie proportionnelle ne la reçoive dans un sens contraire.

L'observation curieuse que M. Arago a rapportée dernièrement à la Classe, semblerait seule au premier coup-d'œil faire exception au cas général. Il a remarqué que les anneaux colorés par transmission présentaient le phénomène de la polarisation; et, dans ce cas-ci, les bandes les plus tranchantes semblent être polarisées dans le même sens que la lumière réfléchie; mais en songeant aux causes de ce phénomène, on s'aperçoit qu'il n'est pas une exception à la règle générale.

Tous les corps opaques ou diaphanes polarisent la lumière sous tous les angles, quoique, pour chacun d'eux, ce phénomème soit au maximum sous un angle particulier. On peut donc dire en général que toute la lumière qui a éprouvé l'action d'un corps par réflexion ou par réfraction, contient des rayons polarisés dont les pôles sont déterminés relativement au plan de réflexion ou de réfraction. Cette lumière a des propriétés et des caractères que n'a pas celle qui nous parvient directement des corps lumineux.

J'ai soumis à la même épreuve les bandes colorées, for-

mées par la dispersion de la lumière lorsqu'elle passe très-près des corps opaques; mais je n'ai encore fait sur cet objet aucune remarque qui soit digne d'être rapportée à la Classe.

Je vais ajouter à ces observations le résultat de quelques recherches que j'ai annoncées précédemment sur le même sujet. J'ai déterminé sur beaucoup de substances l'angle de réflexion, sous lequel la lumière incidente est le plus complètement polarisée, et j'ai reconnu que cet angle ne suit ni l'ordre des puissances réfractives, ni celui des forces dispersives; c'est une propriété des corps indépendante des autres modes d'action qu'ils exercent sur la lumière. Après avoir reconnu l'angle sous lequel ce phénomène a lieu pour différens corps, pour l'eau et le verre, par exemple, j'ai cherché celui sous lequel le même phénomène aurait lieu à leur surface de séparation lorsqu'ils sont en contact; mais il reste à déterminer la loi suivant laquelle ce dernier angle dépend des deux premiers.

J'ai publié il y a un an dans les Mémoires de la Société d'Arcueil, qu'après avoir modifié un rayon solaire, je le faisais passer à travers un nombre quelconque de substances diaphanes, sans qu'aucune de ses molécules fût réfléchie; ce qui me donnait un moyen de mesurer avec exactitude la quantité de lumière que ces corps absorbent, problème que la réflexion partielle rendait impossible à résoudre.

Effectivement, en plaçant sur la direction d'un rayon polarisé une pile de glaces parallèles, et formant avec lui un angle de 35° 25', j'avais observé que ce rayon ne produisait de lumière réfléchie sur aucune d'elles, et j'en avais conclu que la lumière qui aurait été réfléchie en employant un rayon ordinaire, traversait dans ce cas-ci toute la série des corps

diaphanes. Un célèbre physicien, à qui on doit beaucoup d'observations curieuses sur l'optique, M. Thomas Young, en rapportant mon expérience, observe qu'il ne pense pas, comme moi, que la lumière modifiée soit transmise par les surfaces lorsqu'elle n'est pas réfléchie, et qu'il est plus disposé à croire que dans ce cas-ci la portion qui se réfléchit ordinairement est entièrement absorbée ou détruite. J'ai résolu cette question d'une manière incontestable par l'expérience suivante : je fais tourner le rayon incident sur lui-même sans le changer de place, et en lui conservant la même position par rapport à la pile; quand il a fait un quart de circonférence, il est totalement réfléchi par l'action successive des glaces, et il cesse d'être aperçu à l'extrémité de la pile; enfin, après avoir fait une demi-révolution sur lui-même, il commence à la traverser de nouveau. Cette expérience présente le singulier phénomène d'un corps qui paraît tantôt diaphane et tantôt opaque en recevant non-seulement la même quantité de lumière, mais encore le même rayon et sous une même inclinaison.

Je n'ai pas besoin d'observer que pour faire tourner un rayon polarisé sur lui-même, j'emploie un rayon formé par la réfraction ordinaire d'un cristal d'Islande, dont les faces sont parallèles entre elles et perpendiculaires à la direction du rayon. C'est en faisant tourner ces faces dans leur propre plan, que je change la position des pôles du rayon sans faire varier sa direction ni son intensité.

MÉMOIRE

SUR LES PHÉNOMÈNES QUI ACCOMPAGNENT LA RÉFLEXION ET LA RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE.

PAR M. MALUS.

Lu le 27 mai 1811.

J'AI déja eu l'honneur d'entretenir plusieurs fois la Classe des circonstances singulières qui accompagnent la réflexion de la lumière à la surface des corps opaques et diaphanes. Les nouveaux résultats que je vais lui soumettre, jettent le plus grand jour sur les propriétés physiques que la lumière acquiert par l'influence des corps qui la réfléchissent. Ils complètent en quelque sorte la théorie de cette nouvelle branche de l'optique, en la réduisant à un petit nombre de faits bien distincts, dont la combinaison donne naissance aux phénomènes variés et extraordinaires qu'on observe dans ce genre d'expériences.

J'ai dit précédemment que j'entendais par rayon polarisé celui qui, tombant sous une même incidence sur un corps diaphane, avait tantôt la propriété de se réfléchir, et tantôt celle de se soustraire à la réflexion, selon le côté qu'il présentait à l'action de ce corps, et que ces côtés, ou pôles du rayon, étaient toujours à angle droit.

J'ai observé en outre que pour polariser un rayon, il suffisait de lui faire traverser un cristal donnant la double réfraction; ce qui produisait deux faisceaux polarisés dans deux

sens diamétralement opposés, ou de le faire réfléchir par une glace de verre non étamée, et formant avec sa direction un angle de 35° 25′. J'ai démontré que, dans ce dernier cas, toute la lumière réfléchie était polarisée dans un sens, tandis que le rayon réfracté contenait une quantité de lumière polarisée dans un sens diamétralement opposé, et proportionnelle au rayon réfléchi. Je pars de ce dernier fait dans les expériences que je vais rapporter : 1° je considère, afin de fixer les idées, un rayon vertical et polarisé par rapport au plan du méridien, et je dispose au-dessous de ce rayon une glace non étamée, de manière qu'elle puisse tourner autour du rayon, en faisant constamment avec sa direction une angle de 35° 25′. Pour analyser la lumière qui traverse cette glace dans ses différentes positions, je place au-dessous d'elle un rhomboïde de spath d'Islande, en dirigeant sa section principale dans le plan du méridien. Je nommerai plan d'incidence celui qui passe par le rayon vertical incident, et le rayon réfléchi par la glace.

Examinons actuellement ce qui se passe lorsque la glace tourne autour du rayon vertical polarisé, en faisant toujours le même angle avec l'horizon. Considérons-la d'abord dans sa première position, lorsque le plan d'incidence est parallèle au plan du méridien. La lumière réfléchie est alors polarisée, en sorte que si on lui fait traverser un cristal de spath d'Islande, dont la section principale soit parallèle au plan d'incidence, elle se réfracte en un seul faisceau suivant la loi ordinaire. Le rayon qui traverse la glace est de même réfracté par le rhomboïde inférieur en un seul rayon ordinaire.

Si actuellement on fait tourner la glace autour du rayon

vertical comme axe, de manière que le plan d'incidence s'approche, par exemple, de la position du nord-ouest, la quantité de lumière qu'elle réfléchit diminue, mais elle est complétement polarisée par rapport au nouveau plan d'incidence; la lumière réfractée augmente proportionnellement à la quantité dont la lumière réfléchie diminue : mais cette lumière qui s'ajoute à celle qui traversait la glace dans sa première position, se trouvant polarisée par rapport au nouveau plan d'incidence, se décompose en deux rayons en traversant le rhomboïde inférieur, ce qui donne naissance, dans ce cas-ci, à un rayon extraordinaire qui atteint son *maximum* d'intensité lorsque la glace a fait un demi-quart de révolution, c'est-à-dire lorsque le plan d'incidence est dans la direction du nord-ouest. Dans cette position, la glace réfléchit exactement la moitié de la lumière qu'elle réfléchissait dans le premier cas.

Si on continue à la faire tourner en rapprochant le plan d'incidence de la direction ouest, la lumière réfléchie continue à diminuer d'intensité. La lumière réfractée augmente dans la même proportion : le rayon extraordinaire produit par le rhomboïde inférieur diminue d'intensité, tandis que le rayon ordinaire devient de plus en plus intense.

Enfin, lorsque la glace a fait un quart de révolution, elle ne réfléchit plus une seule molécule de lumière, et le rayon qu'elle transmet au cristal inférieur est réfracté en un seul faisceau ordinaire.

Ainsi la lumière réfléchie diminue et la lumière réfractée augmente depuis la première position de la glace jusqu'à ce que le plan d'incidence ait décrit un arc de 90 degrés. Le rayon réfracté ordinairement par le rhomboïde augmente

également depuis la première jusqu'à la dernière position ; mais le rayon extraordinaire augmente seulement jusqu'à ce que le plan d'incidence ait décrit un angle de 45° ; il diminue ensuite et devient nul lorsque la glace a fait un quart de révolution. En supposant donc que la glace fasse une révolution entière, la lumière réfléchie a deux *maxima* répondant aux positions N. et S., et deux *minima* absolus répondant aux positions E. et O. ; mais la lumière réfractée extraordinairement a quatre *minima* absolus répondant aux positions N. S. E. et O., et quatre *maxima* répondant aux positions NO. SE. NE. SO.

2° Lorsque le plan d'incidence est dans une de ces dernières positions, dans celle du N. O., par exemple, on observe un phénomène particulier qui conduit à un résultat important sur la mesure des diverses intensités de lumière réfléchie. Cette position répond à un des *maxima* de la lumière réfractée extraordinairement. Si l'on fait décrire au rhomboïde inférieur un petit angle en dirigeant sa section principale vers le N. E., on voit le rayon réfracté extraordinairement s'affaiblir promptement, et même disparaître totalement si la lumière n'est pas très-intense; il reparaît ensuite au-delà de cette limite. Si on observe l'angle décrit par la section principale, et auquel répond ce nouveau *minimum*, on peut en conclure directement le rapport de la lumière transmise quand elle est à son *maximum* et à son *minimum* ; et en effet, la théorie conduit à ce résultat, que la lumière transmise par la glace dans sa première position est à la quantité dont elle augmente après un quart de révolution, comme l'unité est à deux fois la tangente du double de l'angle observé. On peut donc, par la simple mesure d'un angle,

déterminer l'élément principal de ces phénomènes. Cette quantité une fois connue, on en déduit facilement, d'après la théorie, les rapports d'intensité des rayons ordinaires et extraordinaires, non seulement à leurs *maxima*, mais dans toutes les positions intermédiaires.

3° Considérons encore la glace lorsqu'elle a fait un demi-quart de révolution, mais supposons que, parvenue dans cette position, elle devienne mobile autour d'un axe horizontal, de manière que son angle avec le rayon vertical puisse varier sans que le plan d'incidence cesse de faire un angle de 45° avec celui du méridien ; lorsqu'elle fera un angle de quelques degrés seulement avec l'horizon, elle réfléchira en partie le rayon incident vertical, et la lumière réfléchie sera polarisée, non par rapport au plan d'incidence, comme celle que nous considérions dans l'expérience précédente, mais par rapport au plan du méridien. Si on trace dans le plan de la glace une ligne parallèle au plan du méridien, et si on reçoit la lumière réfléchie sur un cristal de spath d'Islande dont la section principale soit parallèle à cette ligne, le rayon sera réfracté en un seul rayon ordinaire.

Si on augmente l'inclinaison de la glace par rapport au rayon vertical, la lumière réfléchie contiendra, 1° une portion de lumière polarisée par rapport au plan du méridien; 2° une autre portion polarisée par rapport au plan d'incidence. Lorsque la glace fera avec le rayon vertical un angle de 35° 25', la lumière réfléchie sera totalement polarisée par rapport au plan d'incidence; enfin au-delà de cette limite, la lumière recommencera de nouveau à être en partie polarisée par rapport au plan du méridien, et le rayon polarisé par rapport au plan d'incidence diminuera d'intensité jus-

qu'à ce que la glace parvienne dans la position verticale.

Il est inutile d'observer que le rayon extraordinaire formé par le rhomboïde inférieur sera toujours proportionnel à la quantité de lumière réfléchie qui s'est polarisée par rapport au plan de réflexion. Si, comme dans l'expérience précédente, on fait tourner ce rhomboïde de manière à augmenter l'angle compris entre sa section principale et le plan d'incidence, le rayon extraordinaire parviendra à un minimum d'intensité, et la mesure de l'angle décrit donnera le rapport de la lumière polarisée à celle qui traverse la glace sans recevoir cette modification. On peut donc, par ce moyen, déterminer la quantité de lumière qui se polarise sous différens angles d'incidence, et la mesure de ce phénomène est réduite à de simples observations d'angles, ce qui simplifie considérablement ce problême, qui m'avait jusqu'ici présenté les plus grandes difficultés.

4° Substituons à la glace mobile, et dans les mêmes circonstances, un miroir métallique dont le plan d'incidence fasse constamment un angle de 45° avec celui du méridien : lorsque ce miroir est incliné seulement de quelques degrés par rapport à l'horizon, la lumière qu'il réfléchit est entièrement polarisée comme la lumière incidente par rapport au plan du méridien. Si l'inclinaison augmente, il réfléchit, 1° une certaine quantité de lumière polarisée par rapport au plan du méridien; 2° une autre quantité de lumière polarisée par rapport au plan d'incidence. On parvient enfin à une certaine inclinaison pour laquelle la lumière est complétement polarisée par rapport au plan d'incidence. Au-delà de cette limite, la lumière polarisée par rapport au méridien commence à reparaître, et la lumière polarisée par rapport au

plan d'incidence diminue d'intensité jusqu'à ce que le miroir devienne vertical.

Les corps diaphanes et les corps métalliques agissent donc exactement de la même manière sur les rayons qu'ils réfléchissent; mais les corps diaphanes réfractent entièrement la lumière qu'ils polarisent dans un sens, et réfléchissent celle qui est polarisée dans le sens contraire, tandis que les corps métalliques réfléchissent la lumière qu'ils ont polarisée dans les deux sens : bien entendu néanmoins qu'ils participent en partie de la faculté qu'ont tous les autres corps opaques, d'absorber en plus grande quantité l'espèce de rayon que les corps diaphanes transmettent.

Cette dernière expérience fournit un moyen de déterminer l'angle sous lequel les substances métalliques polies polarisent la lumière. Elle fait voir pourquoi, en employant pour ces substances la même méthode que pour les corps diaphanes, la détermination de cet angle devenait impossible. En effet, lorsque la lumière naturelle tombe sous l'angle proposé, le rayon réfléchi contient à la fois les molécules qui sont polarisées dans un sens, et celles qui sont polarisées dans le sens contraire; en sorte qu'il présente, dans sa décomposition par un cristal de spath d'Islande, les mêmes propriétés que le rayon naturel qui est réfléchi sous les plus grandes et sous les moindres incidences; ce qui rend dans ce cas la limite proposée indéterminable. En soumettant à la réflexion du miroir un rayon déja polarisé, on évite cet inconvénient; parce qu'au lieu d'observer, comme sur les substances diaphanes, l'angle sous lequel la polarisation est complète, on observe au contraire celui pour lequel la dépolarisation est la plus complète. Ainsi, pour les substances

métalliques, on emploiera la réflexion d'un rayon déja polarisé, en ayant soin que les pôles du rayon forment un angle de 45° avec le plan d'incidence, et on observera l'angle sous lequel la lumière paraît dépolarisée comme un rayon naturel. Pour les substances diaphanes, au contraire, on emploiera la réflexion d'un rayon naturel, et on observera l'angle sous lequel la lumière paraît complétement polarisée. Cet angle sera déterminé dans l'un et l'autre cas avec la même exactitude.

Les expériences que je viens de rapporter prouvent que la difficulté d'observer ces phénomènes sur les métaux lorsqu'on emploie un rayon direct, ne vient pas, comme je l'avais soupçonné (Théorie de la double réfraction, pag. 230), de ce que la lumière réfléchie partiellement, qui a reçu cette modification, est confondue avec les rayons provenant de la réflexion totale et non modifiés ; ceux que je désignais par réfléchis totalement pour les distinguer de ceux que je supposais produits par une réflexion partielle analogue à celle des corps diaphanes ; ceux-là, dis-je, sont aussi complétement polarisés, mais le sont à-la-fois dans deux sens différens.

Ces expériences prouvent, en second lieu, que la lumière ordinaire, réfléchie par les corps en-deçà et au-delà de l'angle déterminé, ne jouit pas des propriétés du rayon naturel parce qu'elle est composée de lumière polarisée dans les deux sens, comme je l'avais également soupçonné (pag. 239), mais parce que réellement elle n'a pas éprouvé la modification qui produit la polarisation.

Les faits contenus dans ce Mémoire indiquent les méthodes qu'il convient de suivre pour obtenir dans les diffé-

rens cas une mesure exacte des phénomènes. Ils résolvent tout ce que cette théorie renfermait encore de problématique, et établissent d'une manière incontestable les conséquences suivantes :

Tous les corps de la nature sans exception polarisent complétement la lumière qu'ils réfléchissent sous un angle déterminé. En-deçà et au-delà de cet angle, la lumière ne reçoit cette modification que d'une manière incomplète.

Les corps métalliques polis qui réfléchissent plus de lumière que les corps diaphanes, en polarisent aussi davantage. Cette modification est inhérente à l'espèce de forces qui produisent la réflexion.

Enfin, ces nouveaux phénomènes nous ont fait faire un pas de plus vers la vérité, en confirmant l'insuffisance de toutes les hypothèses que les physiciens ont imaginées pour expliquer la réflexion de la lumière. En effet, dans aucune d'elles on ne peut expliquer, par exemple, pourquoi le rayon de lumière le plus intense, quand il est polarisé, peut traverser, sous une certaine inclinaison, un corps diaphane en se dérobant totalement à la réflexion partielle que subit la lumière ordinaire.

CONSIDÉRATIONS

SUR L'ANALYSE VÉGÉTALE ET L'ANALYSE ANIMALE (1),

PAR M. BERTHOLLET.

Lu le 26 décembre 1809.

On peut distinguer deux espèces d'analyse végétale : l'une qui consiste à séparer par différens dissolvans, d'un végétal ou d'un produit végétal, les substances que l'on peut en extraire, pour constater leurs propriétés, et pour en déduire celles qui caractérisaient le végétal auquel elles appartenaient, et même pour éclairer les phénomènes de la végétation; l'autre que l'on a désignée par la dénomination d'analyse par le feu.

La première, qui est dans la réalité la plus intéressante et la plus utile, a fait beaucoup de progrès, particulièrement parmi nous. La classe peut en juger par les découvertes en ce genre dont elle reçoit fréquemment l'hommage; et sans

(*) Peu après la lecture de ce Mémoire, MM. Gay-Lussac et Thénard firent connaître un moyen aussi ingénieux que simple de parvenir à la détermination exacte des parties constituantes des substances végétales et animales, et ils donnèrent un grand nombre d'analyses de ces substances. Rech. Phys., ch. , tome II.

Mon travail me parut dès-lors inutile; cependant je me détermine à le publier, parce qu'on peut trouver quelque intérêt à comparer les résultats de deux procédés différens : j'ai complété les analyses commencées, de la gomme, du sucre de lait, de l'acide tartarique et de la soie, et je les joins à celles du sucre et de la gomme.

doute elle écoutera avec intérêt le témoignage d'un savant étranger.

« Les expériences de Boerhaave et de Neuman furent sans « doute très-intéressantes, dit Thomson (*); mais ce fut « Rouelle, qui le premier fit faire de grands pas dans l'art « de l'analyse végétale, en enseignant l'emploi de différens « dissolvans pour opérer la séparation des parties consti- « tuantes des végétaux. Il fut le premier qui entreprit une « description précise des principes végétaux, et qui indiqua « les caractères auxquels on peut en reconnaître la présence. « Schéele découvrit ensuite plusieurs acides végétaux : il re- « connut leurs propriétés, et donna les moyens de les ob- « tenir des substances dans lesquelles ils entrent comme « parties constituantes. Les expériences de quelques chi- « mistes allemands, spécialement de Hermstadt, ajoutèrent « considérablement aux découvertes de Rouelle et de Schéele, « et elles nous familiarisèrent encore davantage avec plu- « sieurs parties constituantes des végétaux; mais de tous les « chimistes modernes, il n'en est aucun qui ait, à cet égard, « plus de droit à nos éloges que Vauquelin. Ses analyses ont « été nombreuses, et ses découvertes importantes : il a intro- « duit dans l'art de l'analyse cette précision qui caractérise « toutes ses recherches, et sa méthode a été suivie par tous « les chimistes français. Fourcroy s'est souvent associé aux « travaux de Vauquelin, et nous lui devons une analyse très- « intéressante sur le quinquina, qu'il a publiée en son nom « seul. Proust a dernièrement porté son attention sur le « même sujet, et a déja rendu publics des Mémoires très-

(*) Syst. de Chim., tom. VIII, pag. 358.

« instructifs sur cette branche de la science. L'analyse des « plantes avait été jusqu'à ces derniers temps presque entiè- « rement négligée des chimistes anglais; mais ils commencent « à s'en occuper avec succès : Davy, Chenevix, et sur-tout « Hatchet, à qui la chimie végétale a de si grandes obliga- « tions, ont publié des expériences d'un grand intérêt, et « nous pouvons attendre du zèle et du génie de ces savans, « des découvertes encore plus importantess. »

L'analyse par le feu a été décréditée par les tentatives infructueuses des anciens chimistes, qui bornèrent entièrement l'analyse végétale à la distillation. Ils obtenaient par-là, de tout végétal, des produits qui leur paraissaient semblables, ou dont ils ne pouvaient indiquer que quelques différences : ils négligeaient les gaz; ils ne pouvaient apprécier l'influence des différentes circonstances de leurs opérations: de toutes, ils n'ont pu tirer aucune conséquence qui soit restée au nombre des connaissances chimiques.

Cependant les expériences récentes sur les différentes espèces d'éther et sur l'alcool, ont fait voir que l'on pouvait, par l'action du feu, les réduire en produits gazeux, dont l'analyse donnait avec exactitude la composition de ces substances.

J'ai cru que la même méthode pouvait s'appliquer, sinon à toutes, du moins à un grand nombre d'espèces de substances végétales : il m'a paru que les substances animales pouvaient également permettre que l'on déterminât les élémens dont elles sont composées, et que l'on pouvait ainsi donner une base fixe à toutes les considérations dont les unes et les autres sont l'objet.

Je présenterai dans ce Mémoire les essais que j'ai faits, et

que je continue, pour parvenir à donner à cette espèce d'analyse la précision que l'on a portée dans l'analyse minérale.

Dans la distillation dont on se sert ordinairement, la substance placée dans une cornue n'y laisse qu'une partie de son charbon, et il résulte de sa décomposition imparfaite, des combinaisons huileuses, acides, ammoniacales, et des substances gazeuses ; mais l'huile, les acides, qui résultent de la distillation, peuvent subir une entière décomposition, si on les expose à une chaleur assez forte, et s'ils y restent exposés un espace de temps suffisant : ils se réduisent en gaz dont les parties constituantes peuvent être déterminées, en eau, dont la composition est connue, et en charbon qui retient les autres principes fixes, s'il y en a. Pour l'ammoniaque dont on connaît les élémens, on peut la séparer.

Il suffit, pour parvenir au but que j'ai marqué, de faire passer immédiatement les produits de la distillation à travers un tube incandescent, en ménageant beaucoup la distillation. Pour m'assurer si la décomposition était complète, j'ai fait un essai sur le sucre et sur l'acide oxalique, premier objet de mes expériences.

On a donc distillé vingt grammes de sucre très-blanc, en faisant passer les produits de la distillation dans un tube de porcelaine incandescent, en observant exactement le procédé qui a été suivi dans les expériences qui suivront, et en recevant le liquide qui résultait de cette opération dans un flacon vide et entouré de glace. Le liquide, qui s'est condensé en petite quantité, était de l'eau qui avait une faible teinte de jaune, et qui, à peine, a fait incliner au rouge le papier teint par le tournesol.

Ainsi on peut regarder, sans crainte d'erreur sensible,

l'eau qui résulte de la décomposition du sucre, comme de l'eau pure, d'autant plus que dans les expériences suivantes, le liquide dans lequel plongeait un tube de verre adapté à celui de porcelaine, opposait une résistance au gaz qui se dégageait et qui devait passer par ce tube ; ce qui empêchait de petites explosions qui, dans l'expérience dont je parle, avaient poussé une certaine quantité de charbon dans le ballon, et qui avaient dû projeter un peu de liquide, sans qu'il eût le temps de subir une entière décomposition.

On a soumis à la même épreuve vingt grammes d'acide oxalique cristalisé : on a obtenu une quantité de liquide plus grande que dans l'expérience précédente ; il était dû, pour la plus grande partie, à l'eau qui reste dans les cristaux de l'acide oxalique pur. Ce liquide était de l'eau parfaitement incolore, et ne donnait aucun indice d'une substance étrangère, si ce n'est un peu d'acide carbonique par lequel il troublait l'eau de chaux.

Les produits de la distillation du sucre et de l'acide oxalique sont donc entièrement réduits en passant à travers un tube incandescent, en charbon, en eau et en gaz : une partie de ce gaz est de l'acide carbonique, une autre est du gaz hydrogène oxicarburé. Nous connaissons les proportions des élémens de l'acide carbonique et de l'eau ; nous n'avons donc, pour des analyses semblables, qu'à constater la quantité de chacune de ces substances, à examiner les substances fixes qui peuvent se trouver avec le charbon, et à déterminer la composition du gaz oxicarburé.

Les données qui ont servi aux calculs par lesquels on a établi les résultats des expériences et les procédés sur les gaz, ont été les mêmes que ceux qui ont été exposés dans les

Mémoires d'Arcueil, tom. II, pag. 89, à part quelques corrections que l'on peut regarder comme indifférentes, parce qu'elles produisent à peine un changement dans les nombres qui représentent les derniers résultats. On a donc adopté les évaluations suivantes, le thermomètre étant supposé à 0, et le baromètre à 0,76^{m}.

Poids d'un litre d'air atmosphérique sec.....	1.302	grammes.
d'oxigène.............	1.437	
d'hydrogène	0.095	
d'acide carbonique.....	1.978	
d'azote...............	1.262	

On a été déterminé par les dernières expériences de Saussure (*) à admettre dans l'acide carbonique 27 parties de carbone sur 100; proportion qui s'accorde presque rigoureusement avec la différence de pesanteur spécifique de l'oxigène et de l'acide carbonique, dans la supposition que le gaz oxigène ne change pas de dimension en passant à l'état d'acide carbonique.

Dans chacune des analyses suivantes, on a fait une expérience préliminaire pour reconnaître quelle quantité de la substance qui en était l'objet, était nécessaire pour obtenir, abstraction faite de l'acide carbonique, une quantité suffisante de gaz, soit pour en déterminer le poids, en se servant toujours du même ballon, soit pour en répéter plusieurs fois l'analyse; car on ne s'est jamais servi pour l'analyse de celui qui avait été introduit dans le ballon dans lequel on avait fait le vide. On évitait d'employer une quantité inutile de la substance, parce qu'une surabondance aurait pu nuire à

(*) Ann. de Chim., tom. LXXI, pag. 254.

l'exactitude de l'expérience, par le volume et la dispersion du charbon.

Le ballon qui a servi à peser les gaz privés d'acide carbonique, était de la contenance de 4476,748 grammes d'eau distillée.

Pour retenir l'acide carbonique, on a fait plonger le tube conducteur du gaz dans deux flacons successifs remplis d'une dissolution de potasse; de-là le gaz passait sous un récipient rempli d'eau : on faisait ensuite l'épreuve du gaz qui était contenu dans le récipient avec l'eau de baryte; car, s'il retient une petite portion d'acide carbonique qui ait échappé à l'action de l'alcali, il ne l'abandonne pas à l'eau pure, et alors il éprouve une diminution avec l'eau de baryte.

On a déterminé la quantité d'air atmosphérique qui devait remplir l'appareil avant le commencement de chaque opération, en en jaugeant l'intérieur avec du sable fin. On a défalqué dans le calcul l'azote qui appartenait à l'air atmosphérique, et le produit de son oxigène. On a supposé qu'à la fin de l'opération, et lorsque la cornue et les tubes conservaient encore toute leur chaleur, ils retenaient un volume de gaz qui, à la température de la glace, se serait réduit au tiers. Une inexactitude dans cette évaluation est sans conséquence, parce que l'espace intérieur des tubes et de la petite cornue n'était qu'une petite fraction du volume total des gaz.

Toutes les expériences qui avaient quelque incertitude ont été rejetées : on ne s'est borné à deux opérations que lorsque leurs résultats n'offraient que de petites différences : de même on a fait deux analyses de chaque gaz; mais on les a multipliées lorsqu'elles ne s'accordaient pas assez. C'est la moyenne de ces analyses qu'on a employée.

Vingt grammes de sucre très-blanc ont produit dans la première expérience,

Charbon qui est resté dans la cornue et en petite partie dans le tube........................	5.740gr.
Gaz hydrogène oxicarburé, abstraction faite de l'air atmosphérique et de toute vapeur d'eau........	3.668
Acide carbonique............................	2.340
Total....................	11.748

Il y a donc eu 8.252 gr. d'eau formée dans la distillation.

La pesanteur spécifique du gaz oxicarburé a été de 0.56605, et son analyse a donné :

Charbon..................	1.626
Oxigène..................	1.257
Hydrogène.......	0.333
Azote....................	0.442
Total..........	3.668

Les élémens du sucre analysé sont donc :

Charbon...	resté dans la cornue ou dans le tube.	5.740	8.008
	dans le gaz hydrogène oxicarburé...	1.636	
	dans l'acide carbonique............	0.632	
Oxigène....	dans le gaz hydrogène oxicarburé...	1.257	10.144
	dans l'acide carbonique............	1.708	
	dans l'eau formée dans l'opération...	7.179	
Hydrogène.	dans le gaz hydrogène oxicarburé...	0.333	1.406
	dans l'eau........................	1.073	
Azote dans le gaz hydrogène oxicarburé.................			0.442
Total........................			20.000

Même quantité de sucre a donné dans la seconde expérience,

Charbon	5.478 gr.
Gaz hydrogène oxicarburé.	3.513
Acide carbonique	2.539
TOTAL	11.530

Il y a donc eu 8.470 d'eau formée.

La pesanteur spécifique du gaz oxicarburé a été de 0.53763, et son analyse a donné,

Charbon	1.652
Oxigène	1.210
Hydrogène	0.334
Azote	0.317
TOTAL	3,513.

Les proportions des élémens de 20 grammes de sucre qui se déduisent de l'expérience précédente sont :

Charbon	contenu dans la cornue ou dans le tube.	5.478	7.815
	dans le gaz hydrogène oxicarburé	1.652	
	dans l'acide carbonique	0.685	
Oxigène	dans le gaz hydrogène oxicarburé	1.210	10.433
	dans l'acide carbonique	1.854	
	dans l'eau	7.369	
Hydrogène.	dans le gaz hydrogène oxicarburé	0.334	1.435
	dans l'eau	1.101	
Azote dans le gaz hydrogène oxicarburé			0.317.
TOTAL			20.000

La moyenne de ces deux analyses donne pour les proportions des élémens de sucre :

Charbon	39.58
Oxigène	51.44
Hydrogène	7.10
Azote	1.88
TOTAL	110.00.

On peut se proposer cette question : dans quel état se trouve cette partie de l'oxigène et de l'hydrogène qui, par leur réunion, peuvent former de l'eau? Faut-il la regarder en tout ou en partie comme de l'eau qui existait? Il reste sur cet objet une incertitude qu'il ne nous est pas possible de dissiper; toutefois il me paraît raisonnable de s'en tenir à déterminer quels sont les élémens d'une substance, sans faire aucune hypothèse sur l'état où ils se trouvent, lorsque cette substance est au point qu'on ne peut rien en séparer par les moyens connus, sans y produire un changement qui altère sa nature.

Avant de comparer l'analyse que je viens de donner avec la composition annoncée dans le sucre par d'autres chimistes, je passerai à l'analyse de l'acide oxalique.

On a employé 30 grammes d'acide oxalique qui contenaient 21.585 d'acide réel, d'après des expériences propres à M. Berard, et qu'il va faire connaître à la Classe.

On a obtenu dans la première expérience,

Gaz hydrogène oxicarburé	5.295 gr.
Acide carbonique	12.382
TOTAL	17.677.

Il y a donc eu 3.808 grammes d'eau formée.

L'analyse du gaz oxicarburé a donné,

Charbon	2.177
Oxigène	2.751
Hydrogène	0.104
Azote	0.263
TOTAL	5.295.

La pesanteur spécifique du gaz a été 0.79923.

La seconde expérience a donné,

Gaz hydrogène oxicarburé	4.810
Acide carbonique	11.680
TOTAL	16.489

Il y a donc eu 5.095 d'eau formée.

La pesanteur spécifique du gaz a été de 0.83026, et son analyse a donné,

Charbon	2.065
Oxigène	2.519
Hydrogène	0.047
Azote	0.179
TOTAL	4.810.

Dans la première expérience il n'est point resté de charbon; dans la seconde il en a paru, mais en si petite quantité, que l'on n'a pu en prendre le poids : chaque expérience a duré près de trois heures.

Résultats des deux analyses précédentes.

		1e exp.	2e exp.	1e exp.	2e exp.	moye.
Charbon..	du gaz hydrogène oxicarburé	2.177	2.065	5.520	5.218	5.369
	de l'acide carbonique	3.343	3.153			
Oxigène...	du gaz hydrogène oxicarburé	2.751	2.519	15.190	15.479	15.333
	de l'acide carbonique	9.039	8.527			
	de l'eau	3.400	4.433			
Hydrogène	du gaz hydrogène oxicarburé	0.104	0.047	0.612	0.709	0.660
	de l'eau	0.508	0.662			
Azote.....	du gaz hydrogène oxicarburé			0.263	0.179	0.223
TOTAL				21.585	21.585	21.585

Ce qui donne pour 100,

Charbon	24.87
Oxigène	71.03
Hydrogène	3.05
Azote	1.05
TOTAL	100.00

Les résultats que je viens de présenter s'éloignent peu pour l'oxigène de ceux que M. Fourcroy a donnés d'après ses expériences et celles de M. Vauquelin (*) ; mais ils s'en éloignent beaucoup pour le charbon et pour l'hydrogène. Il paraît que ces savans chimistes se sont servis, pour leur détermination, de la décomposition de l'acide oxalique par l'acide nitrique.

M. Thomson vient de publier une analyse de l'acide oxalique (**), sur laquelle je me permettrai quelques observations.

Il a distillé l'oxalate de chaux, et il a déterminé la composition de l'acide, par l'eau et les produits gazeux qui se sont dégagés, et par l'acide carbonique qui est resté en carbonate dans la cornue avec le charbon.

L'affinité de la chaux retient assez fortement l'acide oxalique dans la cornue pour qu'il éprouve la chaleur nécessaire à sa décomposition : ainsi les résultats de cette opération doivent peu différer de ceux de l'analyse directe dont je me suis servi, et qui me paraît cependant devoir en donner de plus précis, parce qu'elle introduit moins d'opérations nécessaires à l'évaluation des principes.

(*) Syst. des Connaiss. Chim., tom. 7, p. 224.

(**) Trans. Phil.

Thomson conclut de ses expériences que 100 parties d'acide oxalique réel sont composées de

Oxigène..................	64.69
Carbone..................	31.78
Hydrogène................	3.53

Mon analyse a donné à-peu-près 7 parties d'oxigène de plus. Cette différence dépend sur-tout de la quantité d'eau dont nous admettons la formation dans la décomposition de l'acide, et que je crois trop faible dans l'analyse de Thomson, parce qu'il n'a fait entrer en compte que l'eau qu'il a pu recueillir (*).

Il y a aussi une différence relativement au charbon dont Thomson admet une plus grande proportion que moi : je l'attribue à une estimation trop forte de la quantité du charbon qui est resté dans la cornue, et qu'il a eu de la peine à recueillir, et en partie à la proportion différente de carbone que nous avons admise dans l'acide carbonique qui provenait immédiatement de la décomposition de l'acide oxalique, et de celui qui a été formé par l'inflammation du gaz oxicarburé.

Mais un produit de mon analyse qui peut paraître hasardé, soit pour l'acide oxalique, soit pour le sucre, c'est l'azote, dont je trouve une si petite proportion.

Pour éloigner le soupçon que l'air contenu dans l'appareil qui a servi à distiller l'acide oxalique, et à en faire l'ana-

---

(*) La conformité de mes résultats avec ceux de l'analyse donnée ensuite par MM. Gay-Lussac et Thenard, me paraît confirmer les observations que j'ai faites sur l'analyse de M. Thomson. (*Note ajoutée*).

lyse, ne peut pas produire d'erreur sensible, il suffit de remarquer que le volume de l'appareil, et par conséquent celui de l'air qu'il contenait, n'était qu'une très-petite fraction du volume des gaz qui se sont dégagés; en sorte qu'une erreur dans l'estimation du volume de l'air atmosphérique, ne pouvait avoir qu'une très-faible influence sur les résultats de l'analyse; et si l'azote ne fait qu'à-peu-près un centième du poids de tout l'acide, il forme cependant un résidu trop considérable pour ne pas se trouver hors des limites de l'erreur : ainsi, dans l'analyse qui a donné la plus faible proportion d'azote, abstraction faite de l'azote de l'air atmosphérique de l'appareil, il montait à 3,17 sur cent du volume du gaz oxicarburé.

On doit placer au nombre des recherches les plus intéressantes de Lavoisier, les expériences qu'il fit pour reconnaître les changemens qui s'opèrent dans les substances qui subissent la fermentation vineuse, et les transpositions de principes qui forment les nouvelles combinaisons. Il fit fermenter un poids donné de sucre et de levure dans une certaine quantité d'eau; il détermina la quantité d'acide carbonique qui se dégagea, celle de l'alcool qui se forma, et celle du ferment qui disparut; ensuite il compara les élémens de ces produits avec ceux du sucre et ceux du ferment qui avait été décomposé.

Une longue suite d'expériences, dit notre illustre chimiste, *faites par différentes voies, et que j'ai répétées bien des fois, m'ont appris que les proportions des principes qui entrent dans la composition du sucre, sont à-peu-près pour* 100 *parties, oxigène* 64, *carbone* 28, *hydrogène* 8.

Il y a apparence qu'il n'avait fait usage que de moyens

d'analyse indirects : ce sont même les seuls que l'on pût employer à cette époque.

Thomson a aussi fait usage de moyens indirects, et il a conclu de la décomposition du sucre par l'acide nitrique, de la quantité d'acide oxalique qui se forme ; de celle du gaz nitreux qui se dégage, la composition du sucre, qui se trouve précisément la même que celle admise par Lavoisier.

J'observerai d'abord que la composition attribuée au sucre approche tellement de celle que Thomson a trouvée pour l'acide oxalique, que les petites différences qui s'y trouvent ne peuvent se concilier avec les propriétés très-distantes de ces deux substances : on en jugera par le tableau comparatif de leurs principes :

		Acide oxalique en nombres entiers.	
Oxigène	64	Oxigène	64
Charbon	28	Charbon	32
Hydrogène	8	Hydrogène	4

Quant à la comparaison des principes du sucre et du ferment avec ceux de la liqueur spiritueuse qui en provient, je ne trouve pas qu'on puisse l'établir avec assez d'exactitude sur les résultats que Lavoisier a donnés, ni même sur ceux que nous devons à M. Thenard (*). On peut s'assurer cependant, en essayant un calcul sur la quantité d'acide carbonique que l'un et l'autre ont obtenu, et en appliquant l'analyse de l'alcool, donnée par Saussure, à la quantité d'alcool qui s'est formé dans leurs expériences, que la proportion de

(*) Ann. de Chim., tom. XLVI.

64 d'oxigène sur 100 de sucre est beaucoup trop forte, et que celle de 51 répond beaucoup mieux aux phénomènes.

Depuis que ce Mémoire a été communiqué à la Classe, on a suivi d'autres analyses qui ont donné lieu à quelques observations que je vais faire connaître, parce qu'elles rendent cette manière d'analyser les substances organiques plus exacte et plus facile.

1° La petite quantité d'azote qu'on a trouvée dans les analyses précédentes, ne provient pas de la substance soumise à l'analyse. Comme on reçoit la grande quantité de gaz qui se dégage dans des flacons remplis d'eau, cette eau dissout une partie du gaz hydrogène oxicarburé, et dégage l'azote qu'elle contient; de sorte qu'on n'en trouve pas dans le sucre et dans les autres produits végétaux, lorsqu'on a le soin de recueillir les gaz au moyen de l'eau bouillie récemment, ou qui a servi dans une opération précédente.

2° Le sucre raffiné, tel que celui qui a été analysé dans ce Mémoire, retient quelquefois un peu d'eau, c'est ce qu'on reconnaît en analysant le sucre candi, qui est à-la-fois plus pur et plus sec.

D'après ces deux considérations on doit adopter, pour le sucre pur et l'acide oxalique, les proportions suivantes, que des analyses faites, en évitant ces causes d'erreur, me déterminent à préférer.

	Sucre candi.	Acide oxalique.
Charbon..........	41.26	25.13
Oxigène..........	51.77	71.78
Hydrogène........	6.97	3.09
	100.00	100.00

3° Dans le procédé que j'ai suivi d'abord, j'ai analysé le gaz hydrogène oxicarburé. Cette opération est quelquefois difficile et embarrassante, parce qu'il faut déterminer la pesanteur spécifique du gaz dont on veut connaître les élémens. Mais on peut se passer, pour effectuer les calculs, de cette pesanteur ; car on peut considérer la combustion du gaz comme une suite de la distillation. Il suffira alors de faire détonner le gaz hydrogène oxicarburé avec l'oxigène, et de déterminer exactement la quantité d'oxigène employée et la quantité d'acide carbonique formée. Je vais donner, dans l'analyse suivante de la gomme, un exemple de cette manière de calculer.

20 grammes de gomme ont été mis dans une cornue, et soumis à la distillation de la manière indiquée au commencement de ce Mémoire. Ils ont laissé dans la cornue 4.720 grammes de charbon : l'acide carbonique formé dans la distillation et retenu par la potasse, a pesé 3.507 grammes.

Le volume du gaz dégagé, abstraction faite de l'air de l'appareil, et de plus réduit à 0° (centigrade), à 0.76 de pression, et 0 vapeur hygrométrique, s'est trouvé de 5.4343 litres. L'analyse de ce gaz a prouvé que 100 parties en exigeaient 77.93 d'oxigène, et formaient 48.64 d'acide carbonique. Il en résulte que les 5.4343 litres de gaz auraient exigé 4.2349 litres d'oxigène, et auraient formé 2.6432 litres d'acide carbonique.

Les produits de l'analyse des 20 grammes de gomme sont donc :

Charbon dans la cornue			4.720 gr.
Acide carbonique formé dans la distillation. 3.507 gr.	Charbon.	0.947	
	Oxigène..	2.560	
2.6432 litres de l'oxigène qui a disparu ont été employés à former 2.6432 litres d'acide carbonique= 5.228 gr., dont il ne faut compter par conséquent que le charbon			1.411
Le reste de l'oxigène 1.5917 litres a formé 2.323 grammes d'eau, dont il ne faut encore compter que l'hydrogène			0.302 gr.
TOTAL			9.940

Mais 20 grammes de la même gomme que celle qui a été analysée, ayant été séchés à la chaleur du bain-marie, ont perdu 3,356 grammes, et par l'incinération on a obtenu 0,529 grammes de cendres ; il n'y avait donc réellement que 16,121 grammes de gomme pure. La différence 6,181 grammes qui se trouve entre cette quantité et le total trouvé ci-dessus, ne peut être attribuée qu'à l'eau formée pendant l'opération, abstraction faite des incertitudes de l'expérience. Mettant donc à sa place ses élémens, on trouve pour la composition de la gomme,

Charbon....	7.078 gr.	d'où il résulte pour 100	43.90
Oxigène....	7.938		49.24
Hydrogène..	1.105		6.86
	16.121		100.00

C'est en suivant une méthode semblable, qu'on a obtenu les résultats que je vais indiquer, du sucre de lait et de l'acide tartarique.

	Sucre de lait.	Acide tartarique.
Charbon....	42.21	24.41
Oxigène.....	51.03	70.02
Hydrogène..	6.76	5.57
	100.00	100.00

J'ai annoncé, au commencement de ce Mémoire, que cette méthode d'analyser pouvait s'appliquer aux substances animales; mais je dois indiquer les soins particuliers que cette opération exige.

On sait que quand on distille les substances animales, on obtient du carbonate d'ammoniaque; ce sel n'est point décomposé en passant à travers le tube incandescent, de sorte qu'il faut le retenir pour en déterminer ensuite les élémens. Pour cela on fait passer le gaz qui sort du tube de porcelaine, dans un premier flacon qui contient de l'eau distillée. Cette eau retient tout le carbonate d'ammoniaque. Le gaz se rend ensuite dans un flacon rempli de potasse, où il dépose son acide carbonique, et de là dans une cuve où il est recueilli. Les produits de cette distillation sont donc, carbonate d'ammoniaque, acide carbonique, gaz hydrogène oxicarburé.

Cependant comme le tube de porcelaine incandescent contient du charbon, une petite partie du carbonate d'ammoniaque se décompose et forme du prussiate d'ammoniaque; mais c'est une quantité infiniment petite, sur-tout quand on a soin d'élever très-fortement la température du tube. On l'a totalement négligée.

Des trois produits obtenus dans la distillation des substances animales dont nous avons parlé plus haut, les deux derniers sont les mêmes que dans la distillation des substances végétales, de sorte qu'on opère sur eux les mêmes calculs. Pour déterminer les élémens du carbonate d'ammoniaque, on est parti des données suivantes : on a adopté qu'une liqueur ammoniacale de 0,9656 de pesanteur spécifique, contient 8,761 d'ammoniaque réelle sur 100, et l'on

18.

a préparé un grand flacon d'acide muriatique pur étendu; on a reconnu, au moyen de la liqueur ammoniacale, que 100 grammes de cet acide saturaient 3,863 grammes d'ammoniaque réelle. On a donc pris à-peu-près la moitié de la liqueur contenue dans le premier flacon, et de la quantité de cet acide muriatique qu'il fallait pour l'amener à l'état neutre, on a conclu la quantité d'ammoniaque réelle : l'autre moitié de la liqueur a été précipitée par le muriate de chaux; le précipité obtenu et lavé a été poussé dans le creuset de platine jusqu'à ce qu'il fût réduit en chaux vive; du poids de la chaux, et en appliquant les résultats de l'analyse du carbonate de chaux donnée par MM. Biot et Thenard (*), on a conclu l'acide carbonique contenu dans la liqueur.

En suivant les procédés que je viens de développer, on a fait l'analyse de 30 grammes de soie, et on a obtenu les résultats suivans :

				gr.
Dans la cornue........	Charbon........................			9.551
Dans le gaz hydrogène oxicarburé..........	Charbon........................			1.940
	Hydrogène......................			0.543
	Azote..........................			0.969
Carbonate d'ammoniaque dans le 1er flacon.....	Acide carbonique	4.204	Charbon..	1.135
			Oxigène...	3.069
	Ammoniaque....	2.585	Hydrogène.	0.488
			Azote.....	2.097
Acide carbonique dans le deuxième flacon..		1.105	Charbon.:.	0.298
			Oxigène...	0.807
				20.897

Or, on avait employé 30 grammes de soie; il s'est donc

(*) Mém. d'Arcueil, tom. II.

formé dans cette opération 9,103 grammes d'eau. En mettant à sa place ses élémens, et rapportant à 100 parties de soie, on trouve,

Charbon................	43.08
Oxigène................	39.32
Hydrogène..............	7.38
Azote..................	10.22
	100.00

Une autre analyse de la soie a donné des résultats à-peu-près concordans avec ceux que je viens de citer. Mais ceux-ci méritent cependant plus de confiance, parce que dans l'autre analyse, on n'avait opéré que sur 15 grammes, et comme dans l'analyse des substances animales on obtient un produit de plus (le carbonate d'ammoniaque), il convient d'opérer sur un peu plus de matière.

MÉMOIRE

SUR L'AXE DE RÉFRACTION DES CRISTAUX ET DES SUBSTANCES ORGANISÉES,

PAR M. MALUS.

Lu le 19 août 1811.

JE vais faire à la Classe la description des moyens que j'emploie pour trouver l'axe de cristallisation et de réfraction dans les cristaux qui ne conservent plus de traces de leurs formes primitives, tels que les masses de cristal de roche qui ont été taillées pour divers usages, et que les opticiens destinent ensuite à la construction des instrumens d'optique. Ce procédé est actuellement en usage dans les ateliers où l'on construit les micromètres de M. Rochon. Il sert encore plus facilement à déterminer l'axe de réfraction des cristaux qui n'ont pas été déformés, et son application m'a conduit à des résultats généraux relatifs à la structure des cristaux et à celle des substances végétales et animales, dont je vais aussi rendre compte à la Classe.

J'ai dit dans mes précédens Mémoires que, pour déterminer dans quel sens un rayon de lumière était polarisé, il fallait faire tourner dans sa direction un cristal doublant les images, et observer le sens dans lequel le rayon n'éprouve plus les modifications de la double réfraction. La direction de la section principale du cristal indique alors celle des pôles du rayon : réciproquement, la direction des pôles du rayon étant

connue, on en déduit celle de la section principale. Enfin, pour une face quelconque naturelle ou artificielle, la section principale étant un plan perpendiculaire à la face réfringente et parallèle à l'axe de réfraction, si on détermine ce plan pour deux faces quelconques, l'intersection de ces deux plans donnera nécessairement la direction de l'axe de cristallisation et de réfraction; ce qui est l'objet du problême.

Voici actuellement comment je parviens à reconnaître dans tous les cas les sections principales. La méthode que j'emploie dans cette circonstance est celle que j'ai décrite dans mon dernier Mémoire, et qui consiste à interposer et à faire mouvoir, entre deux corps polarisans fixes, la substance dont on veut déterminer l'action sur la lumière.

Je commencerai par rappeler qu'on parvient toujours à des résultats analogues, soit qu'on emploie pour polariser la lumière les substances qui donnent la double réfraction, soit qu'on emploie simplement des corps qui la réfléchissent. Ainsi, dans mon dernier Mémoire, j'employais pour polariser la lumière la réflexion d'une glace; et, pour analyser le rayon modifié, un rhomboïde de spath calcaire dont la section principale était parallèle au plan de réflexion, parce qu'il s'agissait de comparer à-la-fois les intensités des rayons polarisés dans les deux sens. J'observais en même temps que la lumière réfractée ordinairement n'avait que deux *maxima* et deux *minima*, et que la lumière réfractée extraordinairement avait quatre *maxima* et quatre *minima*; circonstance qui me sert à expliquer les phénomènes qui dépendent à-la-fois et de la double réfraction et de la réflexion qui a lieu dans l'intérieur des cristaux. Dans le cas dont il s'agit ici, comme on n'a pas à comparer des intensités de lumière,

et comme il faut seulement déterminer un phénomène absolu, j'emploie un appareil encore plus simple, composé de deux glaces non étamées, et dont la seconde face est noircie à la flamme d'une lampe.

Je fixe perpendiculairement à un tableau vertical une de ces glaces, en l'inclinant à l'horizon de 54° 35'; je place au-dessous la seconde, en l'inclinant également à l'horizon de 54° 35', mais en lui faisant faire avec le tableau un angle de 35° 25'. Dans cette position, la lumière qui, après avoir été réfléchie par la première glace, parvient verticalement à la seconde, a perdu la faculté d'être réfléchie par celle-ci, et la pénètre en entier. Si on place entre les deux glaces un cristal doué de la double réfraction, et disposé de manière que sa section principale soit perpendiculaire à l'une ou l'autre glace, la lumière qui le traverse conserve ses propriétés; elle n'est pas réfléchie par la seconde glace. En plaçant l'œil dans le prolongement du rayon qui serait réfléchi, on n'aperçoit pas de lumière. Si la section principale du cristal cesse d'être perpendiculaire à l'une ou l'autre glace, la lumière qui le traverse est divisée en deux faisceaux polarisés en sens contraire, et qui en tombant sur la seconde glace, ne sont plus dans la disposition qui les soustrait à la réflexion partielle. L'œil reçoit alors une certaine quantité de lumière réfléchie, qui est à son *maximum* quand la section principale du cristal a décrit autour de la verticale un angle de 45°, et qui devient nulle de nouveau quand la section principale a décrit un quart de circonférence. On place donc entre les deux glaces une tablette horizontale percée d'une ouverture rectangulaire, dont les côtés sont parallèles et perpendiculaires au tableau vertical. On pose le

cristal sur cette ouverture, et on le fait tourner jusqu'à ce que la lumière qui le traverse ne soit plus réfléchie par la seconde glace, et que le fond de celle-ci paraisse totalement obscur. On le fixe dans cette position, et on trace sur la face inférieure deux lignes parallèles aux côtés de l'ouverture rectangulaire. Si actuellement on fait dans le cristal deux sections perpendiculaires à la première face, et parallèles aux lignes tracées, une de ces sections sera nécessairement parallèle à l'axe de cristallisation. Pour la reconnaître, il faut faire subir à ces nouvelles faces la même épreuve qu'à la première. Dans l'une d'elles, les nouvelles lignes rectangulaires seront perpendiculaires à celles de la première face, ce qui indique qu'elle est perpendiculaire à la section principale: dans l'autre, qui est alors nécessairement parallèle à l'axe, les deux lignes rectangulaires seront inclinées à l'intersection des faces, et une de ces lignes donnera la direction de l'axe. Pour la déterminer, il suffira de faire une nouvelle section parallèlement à une quelconque de ces lignes. Si dans cette troisième section, les lignes rectangulaires sont l'une parallèle et l'autre perpendiculaire à celle qui a dirigé la section, celle-ci indique réellement la direction de l'axe. Si, au contraire, dans cette troisième section, le phénomène de la dépolarisation cesse d'avoir lieu, c'est-à-dire, si, en faisant tourner le cristal, la glace qui doit réfléchir la lumière reste constamment obscure, la direction de l'axe est perpendiculaire à la ligne qui a dirigé la section, et par conséquent perpendiculaire à la dernière face.

On voit par ces opérations que trois sections au plus, et souvent deux, suffisent toujours pour retrouver l'axe de réfraction et de cristallisation d'un corps, quelles que soient

d'ailleurs les altérations qu'il peut avoir subies dans sa forme extérieure. Mais ces trois opérations, nécessaires au minéralogiste qui veut déterminer l'axe de cristallisation d'une substance, ne sont pas nécessaires à l'artiste qui construit un micromètre. Celui-ci peut dès la première opération reconnaître le sens convenable à la taille des cristaux, pour obtenir le phénomène qu'il se propose de produire. Si dans la première section qu'il a obtenue, les lignes rectangulaires sont perpendiculaires à celles de la première face, il peut tailler deux prismes dont les arêtes soient parallèles à la ligne qui a dirigé la section. Dans chacun de ces prismes, l'axe de réfraction est perpendiculaire à l'arête, mais différemment incliné sur les faces, ce qui suffit pour produire l'effet proposé, comme je l'ai prouvé dans la théorie que j'ai donnée de ce genre de phénomène. (*Voyez la théorie de la double réfraction, pages* 270-276).

Si au contraire, dans la première section qu'il a obtenue, les lignes rectangulaires sont inclinées à l'intersection des deux faces, il doit tailler un prisme dont l'arête soit parallèle à la première ligne, et un autre dont l'arête soit parallèle à la seconde. Dans l'un de ces prismes, l'arête est parallèle à l'axe du cristal; dans l'autre, elle lui est perpendiculaire. Cette disposition est celle à laquelle les essais de M. Rochon l'avaient conduit.

La méthode qui sert à retrouver l'axe des substances douées de la double réfraction, peut servir *à fortiori* pour reconnaître si un cristal est doué ou non de cette propriété; car toutes les fois que la glace qui doit réfléchir la lumière paraîtra constamment obscure, on en conclura que le cristal ne jouit pas de cette propriété : lorsqu'au contraire la glace

paraîtra alternativement obscure et éclairée, on en conclura que le cristal est doué de la faculté de doubler les images. Cette méthode étant indépendante de la quantité de l'écartement des images, elle sert à-la-fois pour les cristaux dont la double réfraction est très-forte, et pour ceux dans lesquels la division des images est très-faible. Elle est la seule applicable pour ces derniers, parce que la dispersion des images étant beaucoup plus forte que leur écartement, on ne peut dans aucun cas obtenir leur séparation.

En soumettant à ce genre d'analyse toutes les substances minérales diaphanes et les divers produits chimiques susceptibles de cristalliser, je parviens à ce résultat général, que toutes ces substances sont douées de la double réfraction, hormis celles qui cristallisent en cube ou en octaèdre régulier. Ainsi, comme ces dernières sont en plus petit nombre, au lieu de faire, comme autrefois, une liste des substances qui jouissent de cette propriété, il faut faire actuellement une liste de celles qui en sont privées. Cette observation peut conduire à la connaissance des formes de quelques substances dont la cristallisation n'est pas exactement déterminée. Ainsi l'eau congelée, par exemple, offrant un axe de cristallisation, il est probable que sa forme n'est point un octaèdre régulier, comme on l'avait soupçonné.

Je dois ajouter que les substances qui affectent la forme prismatique, ont ordinairement l'axe de réfraction parallèle aux arêtes du prisme, quelle que soit d'ailleurs leur forme primitive.

Mais ce qu'il y a de plus extraordinaire, c'est que toutes les substances organisées, végétales ou animales, soumises à la même épreuve, participent de cette propriété des cris-

taux. J'ai placé dans les mêmes circonstances les parties fibreuses et transparentes des feuilles et des fleurs, les pellicules qui recouvrent l'aubier, de la soie, des laines et des cheveux blancs, des écailles, de la corne, de l'ivoire, des plumes, des peaux de quadrupèdes et de poissons, des coquilles, du fanon de baleine, etc., et toutes ces substanees ont modifié la lumière de la même manière que les corps cristallisés. Toutes ont, pour ainsi dire, un axe de réfraction ou de cristallisation, comme si elles étaient composées de molécules d'une forme déterminée, disposées symétriquement les unes par rapport aux autres.

Cette observation cependant semble pouvoir s'expliquer de deux manières : ou ces substances sont réellement composées de particules organisées comme les cristaux ; ou ce phénomène tient aux propriétés générales de la lumière réfléchie et réfractée, que j'ai reconnues précédemment. Je discuterai cette matière dans un autre Mémoire, en rapportant les expériences qui doivent décider cette question.

MÉTHODE

DES MOINDRES QUARRÉS,

Pour trouver le milieu le plus probable entre les résultats de différentes observations,

PAR M. LEGENDRE.

Lu le 24 septembre 1811.

M. le comte Laplace ayant trouvé par des considérations fondées sur le calcul des probabilités, que la méthode des moindres quarrés doit être employée préférablement à toute autre, pour trouver la valeur moyenne la plus exacte d'un ou de plusieurs élémens inconnus, entre toutes celles qui sont données par différentes observations; j'ai cru que ceux qui voudraient faire des applications de cette méthode, seraient bien aises de la trouver ici telle que je l'ai publiée en 1805 dans mes *Nouvelles Méthodes pour la détermination des orbites des comètes*.

Dans la plupart des questions où il s'agit de tirer des mesures données par l'observation les résultats les plus exacts qu'elles peuvent offrir, on est presque toujours conduit à un système d'équations de la forme :

$$E = a + bx + cy + fz + \text{etc.}$$

dans lesquelles a, b, c, f, etc. sont des coëfficiens inconnus qui varient d'une équation à l'autre, et x, y, z, etc. sont des inconnues qu'il faut déterminer par la condition que la valeur de E se réduise, pour chaque équation, à une quantité nulle ou très-petite.

Si l'on a autant d'équations que d'inconnues x, y, z, etc., il n'y a aucune difficulté pour la détermination de ces inconnues, et on peut rendre les erreurs E absolument nulles. Mais le plus souvent le nombre des équations est supérieur à celui des inconnues, et il est impossible d'anéantir toutes les erreurs.

Dans cette circonstance, qui est celle de la plupart des problêmes physiques et astronomiques, où l'on cherche à déterminer quelques élémens importans, il entre nécessairement de l'arbitraire dans la distribution des erreurs, et on ne doit pas s'attendre que toutes les hypothèses conduiront exactement aux mêmes résultats; mais il faut sur-tout faire en sorte que les erreurs extrêmes, sans avoir égard à leurs signes, soient renfermées dans les limites les plus étroites qu'il est possible.

De tous les principes qu'on peut proposer pour cet objet, je pense qu'il n'en est pas de plus général, de plus exact, ni d'une application plus facile, que celui dont nous avons fait usage dans les recherches précédentes, et qui consiste à rendre *minimum* la somme des quarrés des erreurs. Par ce moyen il s'établit entre les erreurs une sorte d'équilibre qui, empêchant les extrêmes de prévaloir, est très-propre à faire connaître l'état du système le plus proche de la vérité.

La somme des quarrés des erreurs $E^2 + E'^2 + E''^2 +$ etc. étant

$$\begin{aligned} &(a + bx + cy + fz + \text{etc.})^2 \\ + &(a' + b'x + c'y + f'z + \text{etc.})^2 \\ + &(a'' + b''x + c''y + f''z + \text{etc.})^2 \\ + &\text{etc.}; \end{aligned}$$

si l'on cherche son *minimum* en faisant varier x seule, on aura l'équation

$$o = \int ab + x\int b^2 + y\int bc + z\int bf + \text{etc.}$$

dans laquelle par $\int ab$ on entend la somme des produits semblables $ab + a'b' + a''b'' +$ etc. par $\int b^2$ la somme des quarrés des coëfficiens de x, savoir, $b^2 + b'^2 + b''^2 +$ etc., ainsi de suite.

Le *minimum* par rapport à y donnera semblablement

$$o = \int ac + x\int bc + y\int c^2 + z\int fc + \text{etc.},$$

et le *minimum*, par rapport à z,

$$o = \int af + x\int bf + y\int cf + z\int f^2 + \text{etc.}$$

où l'on voit que les mêmes coëfficiens $\int bc$, $\int bf$, etc., sont communs à deux équations, ce qui contribue à faciliter le calcul.

En général, *pour former l'équation du* minimum *par rapport à l'une des inconnues, il faut multiplier tous les termes de chaque équation proposée par le coëfficient de l'inconnue dans cette équation, pris avec son signe, et faire une somme de tous ces produits.*

On obtiendra de cette manière autant d'équations du *minimum* qu'il y a d'inconnues, et il faudra résoudre ces équations par les méthodes ordinaires. Mais on aura soin d'abréger tous les calculs, tant des multiplications que de la résolution, en n'admettant dans chaque opération que le nombre de chiffres entiers ou décimaux que peut exiger le degré d'approximation dont la question est susceptible.

Si, par un hasard singulier, il était possible de satisfaire à toutes les équations en rendant toutes les erreurs nulles, on obtiendrait également ce résultat par la méthode du *minimum* : car, si après avoir trouvé les valeurs de x, y, z, etc. qui rendent nulles E, E', etc., on fait varier x, y, z, etc. de δx, δy, δz, etc. il est évident que E^2 qui était zéro, deviendra par cette variation $(a\delta x + b\delta y + c\delta z + \text{etc.})^2$. Il en sera de même de E'^2, E''^2, etc.; d'où l'on voit que la somme des quarrés des erreurs aura pour variation une quantité du second ordre par rapport à δx, δy, etc., ce qui s'accorde avec la nature du *minimum*.

Si, après avoir déterminé toutes les inconnues x, y, z, etc., on substitue leurs valeurs dans les équations proposées, on connaîtra les diverses erreurs E, E', E'', etc. auxquelles ce système donne lieu, et qui ne peuvent être réduites sans augmenter la somme de leurs quarrés. Si, parmi ces erreurs, il s'en trouve que l'on juge trop grandes pour être admises, alors on rejettera les équations qui ont produit ces erreurs, comme venant d'expériences trop défectueuses, et on déterminera les inconnues par le moyen des équations restantes, qui alors donneront des erreurs beaucoup moindres. Et il est à observer qu'on ne sera pas obligé alors de recommencer tous les calculs; car, comme les équations du *minimum* se forment par l'addition de produits faits dans chacune des équations proposées, il suffira d'écarter de l'addition les produits donnés par les équations qui auront conduit à des erreurs trop considérables.

La règle par laquelle on prend le milieu entre les résultats de diverses observations (pour un seul élément), n'est qu'une conséquence très-simple de notre méthode générale,

que nous appellerons *méthode des moindres quarrés.* En effet, si l'expérience a donné diverses valeurs a', a'', a''', etc. pour une certaine quantité x, la somme des quarrés des erreurs sera $(a'-x)^2+(a''-x)^2+(a'''-x)^2+$ etc. ; et en égalant cette somme à un *minimum*, on a

$$0=(a'-x)+(a''-x)+(a'''-x)+\text{ etc.},$$

d'où résulte $x=\frac{a+a'+a''+\text{ etc.}}{n}$, n étant le nombre des observations.

Pareillement, si pour déterminer la position d'un point dans l'espace, on a trouvé, par une première expérience, les coordonnées a', b', c'; par une seconde, les coordonnées a'', b'', c'', ainsi de suite; soient x, y, z, les véritables cordonnées de ce point : alors l'erreur de la première expérience sera la distance du point (a', b', c') au point (x, y, z). Le quarré de cette distance est $(a'-x)^2+(b'-y)^2+(z'-c)^2$, et la somme des quarrés semblables étant égalée à un *minimum*, on en tire trois équations qui donnent $x=\frac{\int a}{n}, y=\frac{\int b}{n}, z=\frac{\int c}{n}$; n étant le nombre des points donnés par l'expérience. Ces formules sont les mêmes par lesquelles on trouverait le centre de gravité commun de plusieurs masses égales, situées dans les points donnés ; d'où l'on voit que le centre de gravité d'un corps quelconque jouit de cette propriété générale.

Si on divise la masse d'un corps en molécules égales et assez petites pour être considérées comme des points, la somme des quarrés des distances des molécules au centre de gravité sera un minimum.

On voit donc que la méthode des moindres quarrés fait

connaître en quelque sorte le centre autour duquel viennent se ranger tous les résultats fournis par l'expérience, de manière à s'en écarter le moins qu'il est possible. *Voyez dans l'ouvrage cité une application de cette méthode à la mesure des degrés du méridien, pour en déduire la longueur du 45e degré, et la quantité de l'aplatissement.*

MÉMOIRE

SUR

L'ATTRACTION DES ELLIPSOÏDES HOMOGÈNES,

PAR M. LEGENDRE.

Lu le 5 octobre 1812.

LE problême qui consiste à déterminer l'attraction d'un ellipsoïde homogène sur un point donné, présente deux cas généraux très-distincts; l'un où le point attiré est situé au dedans de l'ellipsoïde ou à sa surface, l'autre où ce point est situé hors du solide.

Le premier cas a été résolu il y a long-temps, avec beaucoup d'élégance et d'une manière complète, par Maclaurin, dans sa pièce sur le flux et le reflux de la mer, qui a partagé le prix de l'Académie des Sciences en 1740.

Le même auteur est parvenu aussi à déterminer l'attraction d'un ellipsoïde sur un point extérieur situé sur le prolongement de l'un des trois axes. Il a donné pour ce cas particulier un théorême fort remarquable, d'où il résulte que si un même point est attiré par deux ellipsoïdes dont les trois sections principales soient décrites des mêmes foyers, les attractions seront entre elles comme les masses de ces ellipsoïdes; ainsi le problême peut se ramener immédiatement au cas où le point attiré est situé sur la surface de l'ellipsoïde, à l'extrémité d'un de ses axes.

Maclaurin n'était pas allé plus loin ; ses résultats avaient été confirmés par une analyse élégante de M. Lagrange ; mais la question de déterminer l'attraction d'un ellipsoïde sur un point extérieur, autre que ceux qui sont placés dans le prolongement d'un des trois axes, restait non résolue, lorsque je présentai à l'Académie des Sciences le Mémoire qui fut imprimé dans le tome X des savans étrangers.

Dans ce mémoire j'ai considéré généralement l'attraction des sphéroïdes de révolution sur un point extérieur, et je suis parvenu à déduire d'une manière très-simple l'attraction sur un point quelconque, de l'attraction sur un point situé dans l'axe du solide, quelle que soit d'ailleurs la figure du méridien.

L'application de ce résultat aux ellipsoïdes de révolution m'a conduit à déterminer exactement l'attraction de ceux-ci sur un point extérieur quelconque.

Le théorême qui contient ce résultat rendait extrêmement probable qu'un théorême semblable avait lieu pour les ellipsoïdes qui ne sont pas de révolution ; c'est-à-dire, que le théorême trouvé par Maclaurin pour les points situés dans le prolongement des axes, avait également lieu pour des points quelconques situés hors de ces axes ; mais la démonstration présentait encore de grandes difficultés.

M. Laplace, le premier, réussit à démontrer ce théorême, par un moyen de vérification fort ingénieux, mais qui ne répandait aucune lumière sur l'intégration directe des formules de l'attraction.

Je suis revenu de nouveau sur cet objet dans les Mémoires de l'Académie, année 1788 ; j'ai d'abord fait voir par une analyse fort simple, que le théorême de Maclaurin pour les

points situés dans le prolongement des trois axes, pouvait être étendu à tous les points situés dans le plan de l'une quelconque des trois sections principales du solide, ce qui comprend comme cas particulier celui des ellipsoïdes de révolution que j'avais traité d'une manière beaucoup plus laborieuse dans mon premier Mémoire.

J'ai ensuite considéré le problème dans toute sa généralité, et j'ai fait voir qu'on pouvait vaincre les difficultés de l'intégration, de manière à parvenir enfin au théorème desiré. J'avoue néanmoins que cette partie de mon Mémoire n'a que le mérite d'être directe, et de montrer, dès l'abord, la possibilité de la solution, mais que d'ailleurs l'analyse en est d'une extrême complication. Il était donc à desirer qu'on découvrît une route plus facile pour parvenir au même résultat.

On avait déja remarqué que les trois forces qui résultent de l'attraction d'un corps de figure quelconque sur un point donné, se déterminent aisément par la différentiation d'une même fonction qui doit satisfaire à une équation aux différences partielles du second ordre, semblable à celle qui sert de base à la théorie des fluides, et dont M. Lagrange a donné l'intégrale complète par une série infinie (*).

M. Biot a eu l'idée heureuse d'appliquer à l'équation de l'attraction, l'intégrale que M. Lagrange avait donnée pour un autre objet. Il en a conclu que si on connaît la fonction principale pour tous les cas où l'une des coordonnées du point attiré est nulle, on peut en déduire l'expression générale de cette fonction pour toutes les valeurs des coor-

(*) Mécanique analytique, page 474.

données. Combinant ensuite cette expression avec le théorême donné dans les Mémoires de 1788, pour l'attraction d'un ellipsoïde sur un point situé dans le plan d'une des trois sections principales, M. Biot trouve que la forme de la fonction cherchée est telle, que le problême de l'attraction d'un ellipsoïde sur un point extérieur quelconque peut se ramener au cas où le point attiré est situé sur la surface de l'ellipsoïde attirant.

Le résultat de M. Biot, joint à la première partie de mon Mémoire de 1788, laquelle n'est sujette à aucune difficulté, complétait d'un manière très-satisfaisante la théorie de l'attraction des ellipsoïdes homogènes, et il y avait peu d'espoir que cette théorie pût acquérir quelque nouveau degré de perfection.

Cependant M. Yvory, dans les Transactions philosophiques de 1809, IIe partie, a répandu sur cette matière une clarté toute nouvelle, en démontrant, par une transformation fort ingénieuse, que l'attraction d'un ellipsoïde homogène sur un point extérieur quelconque, peut se ramener immédiatement à celle d'un second ellipsoïde sur un point intérieur. Les difficultés d'analyse que présentait ce problême traité par tant de moyens différens, disparaissent ainsi tout d'un coup, par le procédé de M. Yvory, et une théorie qui appartenait à l'analyse la plus abstruse, peut maintenant être exposée dans toute sa généralité, d'une manière presque entièrement élémentaire.

Je me suis proposé, dans ce Mémoire, de profiter de la découverte de M. Yvory pour présenter la théorie entière de l'attraction des ellipsoïdes homogènes, avec toute la simplicité dont elle est susceptible. Il m'a suffi pour cet effet de

réunir sous un même point de vue la démonstration de M. Yvory, avec la solution donnée par M. Lagrange, du cas où le point attiré est situé dans l'intérieur de l'ellipsoïde; solution qui est beaucoup plus simple que celle que M. Yvory a donnée pour le même cas, en l'établissant sur des développements en série.

Pour ne rien laisser à desirer sur ce sujet, j'ai donné les valeurs particulières des forces d'attraction dans le cas des sphéroïdes de révolution, et les valeurs générales développées en séries suivant les puissances des excentricités. J'ai cru devoir donner aussi les expressions des mêmes forces en fonctions elliptiques; ces expressions, dans lesquelles il n'y a que deux transcendantes différentes, conduisent à une relation algébrique entre les trois forces qui agissent sur un même point. Elles sont d'ailleurs nécessaires pour trouver avec facilité les valeurs des forces, dans le cas où les séries qui les représentent ne seraient pas suffisamment convergentes.

Formules pour la solution générale du problême.

1. Soient f, g, h, les trois coordonnées du point attiré S, soient x, y, z, celles d'une molécule quelconque dM du corps attirant, et r sa distance au point S, en sorte qu'on ait

$$r^2 = (f-x)^2 + (g-y)^2 + (h-z)^2.$$

L'attraction que la molécule dM exerce sur le point S est exprimée par $\frac{dM}{r^2}$; elle se décompose en trois forces parallèles aux axes des coordonnées, lesquelles sont

$$\frac{(f-x)\,dM}{r^3},\quad \frac{(g-y)\,dM}{r^3},\quad \frac{(h-z)\,dM}{r^3};$$

si donc on désigne par A, B, C, les attractions totales exercées dans le sens des coordonnées x, y, z, respectivement, on aura

$$A = \int \frac{f - x}{r^3} \, dM$$

$$B = \int \frac{g - y}{r^3} \, dM$$

$$C = \int \frac{h - z}{r^3} \, dM,$$

ces intégrales étant étendues à toutes les molécules du corps attirant.

2. Supposons le corps homogène, et soit sa densité $= 1$, on pourra faire $dM = dx\,dy\,dz$, et alors on aura

$$A = \iiint \frac{f - x}{r^3} \, dx\,dy\,dz;$$

les deux autres forces seront semblablement exprimées; mais il suffira de nous occuper de la force A.

Il est facile d'abord d'exécuter l'intégration par rapport à x; car puisqu'en regardant x seule comme variable on a $r\,dr = -(f - x)\,dx$, il s'ensuit qu'on a $\int \frac{f - x}{r^3} \, dx = \int - \frac{dr}{r^2} = \frac{1}{r} +$ Const. Soient donc r_0 et r_1 les deux valeurs de r qui répondent aux deux limites de l'intégrale, c'est-à-dire, aux deux points de la surface du solide qui sont situés sur une même parallèle à l'axe des x, on aura

$$A = \iint dy\,dz \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_0} \right).$$

3. Supposons que le corps attirant soit un ellipsoïde dont la surface ait pour équation

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1;$$

il faudra tirer la valeur de x de cette équation, puis la substituer dans les valeurs de r_0 et r_1, lesquelles sont

$$r_0 = \sqrt{[(f+x)^2 + (g-y)^2 + (h-z)^2]},$$
$$r_1 = \sqrt{[(f-x)^2 + (g-y)^2 + (h-z)^2]};$$

alors il ne s'agira plus que d'exécuter les deux intégrations par rapport à y et à z, dans toute l'étendue de l'ellipsoïde. Mais ces intégrations ne peuvent être effectuées, ni l'une ni l'autre, par les méthodes connues, et il faut recourir à d'autres moyens pour achever la solution du problême, ou du moins pour la ramener aux simples quadratures.

Comparaison des forces exercées dans le même sens par deux ellipsoïdes, dont l'un agit sur un point extérieur, et l'autre sur un point intérieur correspondant.

4. Jusqu'ici nous n'avons fait aucune hypothèse sur la position du point S. Il convient maintenant de distinguer deux cas; celui où le point attiré S est situé dans l'intérieur ou sur la surface de l'ellipsoïde M, et celui où il est situé hors de cet ellipsoïde. Le premier cas suppose qu'on a $\frac{f^2}{a^2} + \frac{g^2}{b^2} + \frac{h^2}{c^2} <$ ou $= 1$; et le second qu'on a $\frac{f^2}{a^2} + \frac{g^2}{b^2} + \frac{h^2}{c^2} > 1$. Ce dernier cas étant le plus difficile, on aura fait un grand pas vers la solution du problême, si on parvient à le ramener au premier.

Pour cet effet considérons un second ellipsoïde M′, dans lequel les quantités analogues à a, b, c, x, y, z, soient désignées par les mêmes lettres accentuées; supposons que cet ellipsoïde, dont la densité est encore $= 1$, exerce son attraction sur un nouveau point S′ déterminé par les trois

coordonnées f', g', h'. Ces deux ellipsoïdes sont d'ailleurs concentriques, et les axes désignés semblablement ont la même direction.

Si l'on désigne par ρ_1 et ρ_0 les quantités analogues à r_1 et r_0, on aura semblablement

$$A' = \iint dy'\,dz' \left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_0}\right),$$

A' étant l'attraction exercée dans le sens des x, sur le point S', par l'ellipsoïde M'.

5. Faisons maintenant en sorte que les quantités ρ_1 et r_1 soient égales dans les deux solides, il s'ensuivra que ρ_0 et r_0 doivent être aussi égales entre elles, et cette circonstance permettra de trouver d'une manière très-simple le rapport des quantités A et A'.

Puisque nous avons à-la-fois

$$r_1 = \sqrt{[(f-x)^2 + (g-y)^2 + (h-z)^2]}$$
$$\rho_1 = \sqrt{[(f'-x')^2 + (g'-y')^2 + (h'-z')^2]},$$

pour rendre ces expressions identiques, faisons d'abord

$$fx = f'x', \quad gy = g'y', \quad hz = h'z';$$

ou, ce qui revient au même, prenons trois indéterminées λ, μ, ν, au moyen desquelles on ait simultanément,

$$f = \lambda f', \quad g = \mu g', \quad h = \nu h'$$
$$x' = \lambda x, \quad y' = \mu y, \quad z' = \nu z,$$

les trois conditions dont il s'agit seront satisfaites, et il restera à satisfaire à l'équation

$$f^2 + g^2 + h^2 + x^2 + y^2 + z^2 = f'^2 + g'^2 + h'^2 + x'^2 + y'^2 + z'^2.$$

Substituant dans celle-ci les valeurs de f', g', h', en f, g, h, et celles de x', y', z', en x, y, z, on aura l'équation

$$(\lambda^2-1)x^2+(\mu^2-1)y^2+(\nu^2-1)z^2=\frac{f^2}{\lambda^2}(\lambda^2-1)+\frac{g^2}{\mu^2}(\mu^2-1)+\frac{h^2}{\nu^2}(\nu^2-1);$$

laquelle doit s'accorder avec l'équation de l'ellipsoïde donné $\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}=1$. Pour cela soit $\lambda^2-1=\frac{\xi}{a^2}$, il faudra qu'on ait $\mu^2-1=\frac{\xi}{b^2}$, $\nu^2-1=\frac{\xi}{c^2}$, et on aura pour déterminer ξ, l'équation

$$\frac{f^2}{a^2+\xi}+\frac{g^2}{b^2+\xi}+\frac{h^2}{c^2+\xi}=1. \qquad \text{(a)}$$

Nous avons supposé que le point attiré S était situé hors de l'ellipsoïde M, et qu'ainsi on a $\frac{f^2}{a^2}+\frac{g^2}{b^2}+\frac{h^2}{c^2}>1$; de-là on voit qu'en faisant successivement $\xi=0$ et $\xi=\infty$, dans la fonction qui forme le premier membre de l'équation (a), cette fonction devient >1 dans le premier cas et $=0$ dans le second cas. Donc il y a une valeur réelle et positive de ξ qui satisfait à l'équation (a); et comme d'ailleurs le premier membre décroît continuellement à mesure que ξ augmente, depuis $\xi=0$ jusqu'à $\xi=\infty$, il s'ensuit que cette équation n'a qu'une racine réelle.

6. Connaissant la valeur de ξ, on aura celles de λ, μ, ν, par les équations $\lambda^2=1+\frac{\xi}{a^2}$, $\mu^2=1+\frac{\xi}{b^2}$, $\nu^2=1+\frac{\xi}{c^2}$; ensuite le point S' sera déterminé par les coordonnées

$$f'=\frac{f}{\lambda},\ g'=\frac{g}{\mu},\ h'=\frac{h}{\nu}.$$

De plus, puisqu'on a $x=\frac{x'}{\lambda}$, $y=\frac{y'}{\mu}$, $z=\frac{z'}{\nu}$; si on substi-

tue ces valeurs dans l'équation de l'ellipsoïde donné M, on aura

$$\frac{x'^2}{\lambda^2 a^2} + \frac{y'^2}{\mu^2 b^2} + \frac{z'^2}{\nu^2 c^2} = 1\,;$$

c'est l'équation du second ellipsoïde M′, dont les demi-axes sont a', b', c'; on aura donc

$$a' = a\lambda\,, \quad b' = b\mu\,, \quad c' = c\nu.$$

De ces équations on tire

$$a'^2 - a^2 = \xi\,, \quad b'^2 - b^2 = \xi\,, \quad c'^2 - c^2 = \xi\,;$$

donc on a aussi

$$a'^2 - b'^2 = a^2 - b^2\,, \quad b'^2 - c'^2 = b^2 - c^2\,, \quad c'^2 - a'^2 = c^2 - a^2\,;$$

d'où l'on voit que les deux ellipsoïdes dont il s'agit se correspondent de telle sorte, que les sections principales situées dans le même plan sont décrites des mêmes foyers.

Remarquons maintenant que puisqu'on a $a'^2 = a^2 + \xi$, $b'^2 = b + \xi$, $c'^2 = c^2 + \xi$, l'équation (a) donne

$$\frac{f^2}{a'^2} + \frac{g^2}{b'^2} + \frac{h^2}{c'^2} = 1\,;$$

et qu'ainsi le point S dont les coordonnées sont f, g, h, est situé sur la surface de l'ellipsoïde M′.

Réciproquement, puisqu'on a aussi l'équation

$$\frac{f'^2}{a^2} + \frac{g'^2}{b^2} + \frac{h'^2}{c^2} = 1\,,$$

il s'ensuit que le point S′, dont les coordonnées sont f', g', h', est situé sur la surface de l'ellipsoïde M.

Ces deux points S et S′ se correspondent mutuellement de telle sorte, qu'on a

$$f : f' :: a' : a\,, \quad g : g' :: b' : b\,, \quad h : h' :: a' : a\,,$$

c'est-à-dire que les coordonnées homologues, ou parallèles à un même axe, divisent proportionnellement les axes sur lesquelles elles sont situées.

7. Ayant fait voir qu'on a généralement $\rho_1 = r_1$, et par une suite nécessaire $\rho_0 = r_0$; si on observe d'ailleurs que les équations $y' = \mu y$, $z' = \nu z$, donnent $dy' = \mu dy$, $dz' = \nu dz$, et par conséquent $dy'dz' = \mu\nu dydz = \frac{b'c'}{bc} dydz$; on en conclura que les forces A et A' sont ainsi exprimées :

$$A = \iint dydz\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_0}\right)$$

$$A' = \frac{b'c'}{bc}\iint dydz\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_0}\right);$$

et comme ces intégrales sont prises de part et d'autre entre les mêmes limites, il s'ensuit qu'on a

$$A : A' :: bc : b'c',$$

c'est-à-dire que les attractions A et A', dans le sens des demi-axes a, a', sont entre elles comme les produits bc, $b'c'$, des deux autres demi-axes.

On aurait donc semblablement

$$B : B' :: ac : a'c'$$

$$C : C' :: ab : a'b'.$$

Ainsi étant proposé de déterminer l'attraction d'un ellipsoïde M sur un point S situé hors de ce solide, on imaginera un second ellipsoïde M', dont la surface passe par le point donné S, et dont les sections principales soient situées dans les mêmes plans et décrites des mêmes foyers que les sections correspondantes de l'ellipsoïde donné, conditions

qui suffisent pour déterminer entièrement la grandeur et la position des axes a', b', c', du second ellipsoïde ; on prendra ensuite sur la surface de l'ellipsoïde donné M un point S', de manière que chaque coordonnée du point S' soit à la coordonnée correspondante du point S dans le même rapport que les demi-axes des ellipsoïdes M et M', situés dans la direction de ces coordonnées. Cela posé, si on désigne par A', B', C', les trois forces parallèles aux axes des coordonnées qui résultent de l'attraction de l'ellipsoïde M' sur le point intérieur S', et par A, B, C, les forces exercées semblablement par l'ellipsoïde M sur le point extérieur S, on aura, d'après ce que nous avons démontré,

$$A = \frac{bc}{b'c'} A', \quad B = \frac{ac}{a'c'} B', \quad C = \frac{ab}{a'b'} C'.$$

On voit donc que le second cas du problème général, regardé jusqu'à présent comme sujet à de grandes difficultés, se ramène immédiatement au premier cas, où il s'agit de déterminer l'attraction d'un ellipsoïde donné sur un point intérieur quelconque : or, on sait que ce premier cas a été résolu il y a long-temps avec beaucoup de simplicité et d'élégance ; et il ne nous reste qu'à exposer cette solution pour compléter entièrement la théorie de l'attraction des ellipsoïdes homogènes.

Solution du cas où le point attiré est situé dans l'intérieur de l'ellipsoïde ou à sa surface.

8. Soit toujours M l'ellipsoïde donné dont la surface a pour équation

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1,$$

et soit S le point attiré dont les coordonnées sont f, g, h; ce point est maintenant situé dans l'intérieur de l'ellipsoïde, de sorte qu'on a

$$\frac{f^2}{a^2}+\frac{g^2}{b^2}+\frac{h^2}{c^2}<1.$$

Soit dM une molécule quelconque du corps attirant, le lieu de cette molécule sera déterminé en général par les trois coordonnées rectangles x, y, z, prises dans le sens des demi-axes a, b, c; mais il convient d'exprimer ces coordonnées par d'autres variables.

Soit R la distance de la molécule au point S; soit p l'angle que fait la droite R avec la parallèle à l'axe des x menée par le point S; soit enfin q l'angle que fait le plan de ces deux droites avec le plan des x, y. Si l'origine des coordonnées était au point S, le lieu de la molécule dM serait déterminé par les valeurs $x=\mathrm{R}\ cos.\ p$, $y=\mathrm{R}\ sin.\ p\ cos.\ q$, $z=\mathrm{R}\ sin.\ p\ sin.\ q$; mais comme on doit supposer que l'origine des coordonnées est placée au centre de l'ellipsoïde, on aura

$$x=f+\mathrm{R}\ cos.\ p$$
$$y=g+\mathrm{R}\ sin.\ p\ cos.\ q$$
$$z=h+\mathrm{R}\ sin.\ p\ sin.\ q.$$

Concevons maintenant que la molécule dM prenne la forme d'un parallélepipède rectangle dont les côtés relatifs aux variations des quantités R, p, q, sont dR, Rdp, R$dq\ sin.\ p$; puisqu'on suppose la densité $=1$, on pourra faire $d\mathrm{M}=\mathrm{R}^2 d\mathrm{R}dpdq\ sin.\ p$. Donc, l'attraction de la molécule dM sur le point S sera exprimée par $d\mathrm{R}dpdq\ sin.\ p$; et les trois forces qui en résultent suivant les axes des x, des y et

des z, seront respectivement $d\mathrm{R}\, dp\, dq\; sin.\, p\; cos.\, p$, $d\mathrm{R}\, dp\, dq\; sin^2 p\; cos.\, q$, $d\mathrm{R}\, dp\, dq\; sin^2 p\; sin.\, q$; si donc on désigne, comme ci-dessus, par A, B, C, les attractions totales parallèlement à ces axes, on aura

$$\mathrm{A} = \iiint d\mathrm{R}\, dp\, dq\; sin.\, p\; cos.\, p$$

$$\mathrm{B} = \iiint d\mathrm{R}\, dp\, dq\; sin^2 p\; cos.\, q$$

$$\mathrm{C} = \iiint d\mathrm{R}\, dp\, dq\; sin^2 p\; sin.\, q,$$

ces intégrales étant étendues à toutes les molécules du corps attirant.

9. Considérons d'abord la valeur de A : si on effectue l'intégration par rapport à R, et qu'on appelle R′ et R″ les deux valeurs de R qui répondent aux deux points de la surface du solide, situés sur la droite déterminée par les deux angles p et q, on aura

$$\mathrm{A} = \iint (\mathrm{R}' - \mathrm{R}'')\, dp\, dq\; sin.\, p\; cos.\, p.$$

Dans cette formule, $\mathrm{R}' dp\, dq\; sin.\, p\; cos.\, p$ représente l'attraction dans le sens des x, de la pyramide infiniment aiguë qui a pour longueur R′, et pour base, perpendiculaire à R′, l'élément $\mathrm{R}'^2 dp\, dq\; sin.\, p$; de même $\mathrm{R}'' dp\, dq\; sin.\, p\; cos.\, p$ représente l'attraction dans le sens des x, de la pyramide opposée à la précédente. Ces deux pyramides, terminées l'une et l'autre à la surface du solide, attirent évidemment le point S en sens contraires; ainsi nous avons dû prendre la différence des deux forces qu'elles exercent sur ce point.

Maintenant, si dans l'équation de la surface $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$,

on substitue pour x, y, z, leurs valeurs en fonctions de R, p, q, on aura l'équation

$$\delta R^2 + 2\varepsilon R - \zeta = 0,$$

dans laquelle on a fait pour abréger,

$$\delta = \cos^2 p + \frac{a^2}{b^2} \sin^2 p \cos^2 q + \frac{a^2}{c^2} \sin^2 p \sin^2 q$$

$$\varepsilon = f \cos. p + \frac{a^2}{b^2} g \sin. p \cos. q + \frac{a^2}{c^2} h \sin. p \sin. q$$

$$\zeta = a^2 - f^2 - \frac{a^2}{b^2} g^2 - \frac{a^2}{c^2} h^2.$$

Les deux valeurs de R que donne cette équation ont été désignées par R' et — R''; on aura donc

$$R' = \frac{-\varepsilon + \sqrt{(\varepsilon^2 + \delta\zeta)}}{\delta},$$

$$R'' = \frac{\varepsilon + \sqrt{(\varepsilon^2 + \delta\zeta)}}{\delta},$$

d'où résulte $R' - R'' = -\frac{2\varepsilon}{\delta}$. Substituant cette valeur dans l'expression de A, et faisant abstraction du signe dont toute l'expression est affectée, on aura

$$A = \iint \frac{2\varepsilon}{\delta} dp\, dq \sin. p \cos. p;$$

intégrale qui doit être prise depuis $p = 0$ jusqu'à $p = \pi$, et depuis $q = 0$ jusqu'à $q = \pi$.

10. Substituant d'abord la valeur de ε, on aura

$$A = 2f \iint \frac{dp\, dq \sin. p \cos^2 p}{\delta} + \frac{2a^2 g}{b^2} \iint \frac{dp\, dq \sin^2 p \cos. p \cos. q}{\delta},$$
$$+ \frac{2a^2 h}{c^2} \iint \frac{dp\, dq \sin^2 p \cos. p \sin. q}{\delta}:$$

or, j'observe que lorsque p devient $\pi - p$, δ reste le même, mais qu'alors $\sin^2 p \cos. p$ change de signe. Donc, puisque les intégrales doivent être prises depuis $p = 0$ jusqu'à $p = \pi$, les deux dernières parties de la valeur de A se réduisent à zéro, et on a simplement

$$A = 2f \iint \frac{dp\,dq \sin. p \cos^2 p}{\cos^2 p + \frac{a^2}{b^2} \sin^2 p \cos^2 q + \frac{a^2}{c^2} \sin^2 p \sin^2 q}.$$

Par des considérations semblables on trouverait que les valeurs des forces B et C s'expriment ainsi :

$$B = \frac{2a^2 g}{b^2} \iint \frac{dp\,dq \sin^3 p \cos^2 q}{\cos^2 p + \frac{a^2}{b^2} \sin^2 p \cos^2 q + \frac{a^2}{c^2} \sin^2 p \sin^2 q},$$

$$C = \frac{2a^2 h}{c^2} \iint \frac{dp\,dq \sin^3 p \sin^2 q}{\cos^2 p + \frac{a^2}{b^2} \sin^2 p \cos^2 q + \frac{a^2}{c^2} \sin^2 p \sin^2 q}.$$

11. Maintenant, sans effectuer les deux intégrations par rapport à p et à q, on voit qu'en faisant $A = 2fX$, la quantité X ne dépendra que des rapports $\frac{a^2}{b^2}$, $\frac{a^2}{c^2}$. Donc le point S sera attiré également dans le sens des x, par tous les ellipsoïdes semblables et situés semblablement, qui enveloppent le point S. Il en sera de même de l'attraction dans le sens des y et de l'attraction dans le sens des z; d'où il suit que tous ces ellipsoïdes exerceront la même attraction absolue sur le point S situé dans leur intérieur.

Ce résultat ne peut avoir lieu, à moins que la couche solide comprise entre deux quelconques des ellipsoïdes qui environnent le point S, n'exerce aucune attraction sur ce point. Et c'est ce qu'on démontre aisément par une construction fondée sur les propriétés des surfaces du second ordre.

12. La valeur $A = 2fX$, où X ne dépend que des deux quantités $\frac{a^2}{b^2}$, $\frac{a^2}{c^2}$, prouve encore que tous les points situés dans un même plan perpendiculaire à l'axe des x, sont également attirés par l'ellipsoïde dans le sens de cet axe, et qu'en général l'attraction parallèle à un axe, pour un point quelconque, est proportionnelle à la coordonnée de ce point parallèle au même axe.

Soient donc $A_{,}$, $B_{,}$, $C_{,}$, les attractions exercées par l'ellipsoïde M sur les points situés aux extrémités des demi-axes a, b, c; les attractions exercées dans le sens des mêmes axes sur le point S, auront pour valeurs

$$A = \frac{f}{a} A_{,}, \quad B = \frac{g}{b} B_{,}, \quad C = \frac{h}{c} C_{,}.$$

Toutes ces propriétés ont été démontrées il y a long-temps par Maclaurin, mais on voit qu'elles se déduisent très-simplement de nos formules, avant même d'avoir effectué les intégrations.

13. Revenons à l'expression de A trouvée dans l'article 10, et proposons-nous d'abord d'intégrer la différentielle

$$\frac{dq}{\cos^2 p + \frac{a^2}{b^2} \sin^2 p \cos^2 q + \frac{a^2}{c^2} \sin^2 p \sin^2 q},$$

depuis $q = 0$ jusqu'à $q = \pi$. On sait que dans ces limites on a la formule $\int \frac{dq}{m^2 \cos^2 q + n^2 \sin^2 q} = \frac{\pi}{mn}$; ainsi nous aurons pour l'intégrale dont il s'agit

$$\frac{\pi}{\sqrt{(\cos^2 p + \frac{a^2}{b^2} \sin^2 p)} \cdot \sqrt{(\cos^2 p + \frac{a^2}{c^2} \sin^2 p)}},$$

et la valeur de A deviendra

$$A = 2f\pi \int \frac{dp \sin. p \cos^2 p}{\sqrt{(\cos^2 p + \frac{a^2}{b^2} \sin^2 p)} . \sqrt{(\cos^2 p + \frac{a^2}{c^2} \sin^2 p)}}.$$

Cette dernière intégrale doit être prise depuis $p = 0$ jusqu'à $p = \pi$, ce qui revient à la prendre depuis $p = 0$ jusqu'à $p = \frac{1}{2}\pi$, et à doubler le résultat. Soit donc $\cos. p = x$, et on aura

$$A = 4\pi b c f \int \frac{x^2 dx}{\sqrt{[a^2 + (b^2 - a^2) x^2]} . \sqrt{[a^2 + (c^2 - a^2) x^2]}},$$

nouvelle intégrale qui doit être prise depuis $x = 0$ jusqu'à $x = 1$. Si dans cette expression on introduit la masse M de l'ellipsoïde à la place de son volume $\frac{4}{3}\pi a b c$, on aura

$$A = \frac{3Mf}{a} \int \frac{x^2 dx}{\sqrt{(a^2 + \overline{b^2 - a^2} . x^2)} . \sqrt{(a^2 + \overline{c^2 - a^2} . x^2)}}.$$

Il est clair qu'on déduira de cette expression les valeurs des forces B et C, par une simple permutation de lettres; on aura ainsi

$$B = \frac{3Mg}{b} \int \frac{x^2 dx}{\sqrt{(b^2 + \overline{c^2 - b^2} . x^2)} . \sqrt{(b^2 + \overline{a^2 - b^2} . x^2)}},$$

$$C = \frac{3Mh}{c} \int \frac{x^2 dr}{\sqrt{(c^2 + \overline{a^2 - c^2} . x^2)} . \sqrt{(c^2 + \overline{b^2 - c^2} . x^2)}}.$$

J'observerai cependant que si on eût calculé directement les valeurs de B et C par les formules de l'art. 10, en intégrant d'abord par rapport à q, on aurait trouvé ces valeurs sous la forme suivante

$$B = \frac{3Mg}{a(c^2 - b^2)} \left(\frac{c}{b} - \int \frac{dx \sqrt{(a^2 + \overline{c^2 - a^2} . x^2)}}{\sqrt{(a^2 + \overline{b^2 - a^2} . x^2)}} \right),$$

$$C = \frac{3Mh}{a(c^2 - b^2)} \left(-\frac{b}{c} + \int \frac{dx \sqrt{(a^2 + \overline{b^2 - a^2} . x^2)}}{\sqrt{(a^2 + \overline{c^2 - a^2} . x^2)}} \right);$$

mais d'ailleurs il est facile de s'assurer que ces diverses formules où les intégrales doivent toujours être prises depuis $x = 0$ jusqu'à $x = 1$, s'accordent parfaitement entre elles.

14. Le problème étant ainsi réduit aux quadratures, on achèvera la solution dans les différens cas par les méthodes d'approximation connues.

Si l'ellipsoïde est peu différent d'une sphère, en sorte que les quantités $a^2 - b^2$, $a^2 - c^2$, soient très-petites par rapport à a^2, on fera $\frac{a^2 - b^2}{a^2} = \mu$, $\frac{a^2 - c^2}{a^2} = \nu$, et on aura

$$A = \frac{3Mf}{a^3} \int \frac{x^2 dx}{\sqrt{(1-\mu x^2)} . \sqrt{(1-\nu x^2)}},$$

expression qu'il est facile de développer en suite convergente.

Pour cela soit

$$(1 - \mu x^2)^{-\frac{1}{2}} (1 - \nu x^2)^{-\frac{1}{2}} = 1 + P' x^2 + P'' x^4 + P''' x^6 + \text{etc.}$$

on aura

$$A = \frac{3Mf}{a^3} \int x^2 dx (1 + P' x^2 + P'' x^4 + \text{etc.})$$

Effectuant l'intégration entre les limites $x = 0$, $x = 1$, il viendra

$$A = \frac{Mf}{a^3} (1 + \tfrac{3}{5} P' + \tfrac{3}{7} P'' + \tfrac{3}{9} P''' + \text{etc.})$$

Quant aux valeurs des coëfficiens P', P'', etc., elles sont

$$P' = \frac{1}{2} (\mu + \nu),$$

$$P'' = \frac{1.3}{2.4} (\mu^2 + \nu^2) + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \mu\nu,$$

$$P''' = \frac{1.3.5}{2.4.6} (\mu^3 + \nu^3) + \frac{1.3}{2.4} \cdot \frac{1}{2} \mu\nu (\mu + \nu),$$

$$P^{\text{IV}} = \frac{1.3.5.7}{2.4.6.8} (\mu^4 + \nu^4) + \frac{1.3.5}{2.4.6} \cdot \frac{1}{2} \mu\nu (\mu^2 + \nu^2) + \frac{1.3}{2.4} \cdot \frac{1.3}{2.4} \mu^2 \nu^2,$$

etc.

La loi de ces expressions est facile à saisir, et on voit que si μ et ν sont, comme on le suppose, des quantités très-petites, la suite qui donne la valeur de A sera très-convergente. Des suites semblables exprimeront les attractions B et C dans le sens des deux autres axes.

15. Si on ne veut pas avoir recours aux séries, ou si les excentricités des sections principales de l'ellipsoïde sont trop grandes pour que les séries soient convergentes, alors il conviendra d'exprimer les attractions A, B, C, au moyen des fonctions elliptiques.

Pour cet effet il faut établir un ordre de grandeur entre les demi-axes a, b, c. Supposons que cet ordre est a, b, c, en sorte qu'on ait $a < b$ et $b < c$; soit en conséquence $b^2 - a^2 = m^2$ et $c^2 - a^2 = n^2$, on aura d'abord

$$A = \frac{3Mf}{a}\int \frac{x^2 dx}{\sqrt{(a^2 + m^2 x^2)} \cdot \sqrt{(a^2 + n^2 x^2)}}.$$

Soit $x = \frac{a}{n}\, tang.\, \varphi$, et $k^2 = 1 - \frac{m^2}{n^2}$, on aura la transformée

$$A = \frac{3Mf}{n^3}\int \frac{d\varphi\, tang^2 \varphi}{\sqrt{(1 - k^2 \sin^2 \varphi)}},$$

intégrale qui devra être prise depuis $\varphi = 0$ jusqu'à la valeur de φ, qui donne $tang.\, \varphi = \frac{n}{a}$, $sin.\, \varphi = \frac{n}{c}$, $cos.\, \varphi = \frac{a}{c}$. Nous appellerons cette valeur α.

De même puisqu'on a

$$B = \frac{3Mg}{b}\int \frac{x^2 dx}{\sqrt{(b^2 - m^2 x^2)} \cdot \sqrt{(b^2 + \overline{n^2 - m^2} \cdot x^2)}},$$

si on fait $x = \frac{b\, sin.\, \varphi}{\sqrt{(1 - k^2 \sin^2 \varphi)}}$, on aura la transformée

$$B = \frac{3Mg}{n^3}\int \frac{d\varphi\, \sin^2 \varphi}{(1 - k^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}},$$

où il faut encore prendre l'intégrale depuis $\varphi = 0$ jusqu'à $\varphi = \alpha$.

Enfin si dans la formule

$$C = \frac{3Mh}{c}\int\frac{x^2 dx}{\sqrt{(c^2 - n^2x^2)}.\sqrt{(c^2 - m^2x^2)}},$$

on fait $x = \frac{c\,sin.\,\varphi}{n}$, on aura

$$C = \frac{3Mh}{n^3}\int\frac{d\varphi\,sin^2\varphi}{\sqrt{(1 - k^2\,sin^2\varphi)}},$$

l'intégrale étant toujours prise entre les mêmes limites.

16. De-là on voit que si on fait $\Delta = \sqrt{(1 - k^2\,sin^2\,\varphi)}$, et qu'on prenne les trois intégrales suivantes depuis $\varphi = 0$ jusqu'à $\varphi = \alpha$,

$$X = \int\frac{d\varphi\,tang^2\varphi}{\Delta},\ \ Y = \int\frac{d\varphi\,sin^2\varphi}{\Delta^3},\ \ Z = \int\frac{d\varphi\,sin^2\varphi}{\Delta},$$

les trois forces A, B, C, seront ainsi exprimées :

$$A = \frac{3Mf}{n^3}X,\quad B = \frac{3Mg}{n^3}Y,\quad C = \frac{3Mh}{n^3}Z.$$

Les intégrales X, Y, Z, se rapportent immédiatement aux fonctions elliptiques, et d'après les formules que j'ai données ailleurs (*), on trouve

$$X = \frac{n^2}{m^2}[\Delta\,tang.\,\varphi - E(k,\varphi)],$$

$$Y = \frac{n^2}{m^2k^2}\left[E(k,\varphi) - \frac{k^2\,sin.\,\varphi\,cos.\,\varphi}{\Delta}\right] - \frac{1}{k^2}F(k,\varphi),$$

$$Z = \frac{1}{k^2}[F(k,\varphi) - E(k,\varphi)],$$

(*) Exercices de calcul intégral, Ire partie, n° 138.

formules où il faudra substituer la valeur de φ qui donne $\sin.\,\varphi = \frac{n}{c}$, $\cos.\,\varphi = \frac{a}{c}$, $\Delta = \frac{b}{c}$.

Nous avons donné des méthodes pour évaluer, avec toute la précision nécessaire, les fonctions E et F, quels que soient le module k et l'amplitude φ; ainsi nous n'avons rien à ajouter sur la détermination absolue des quantités A, B, C.

17. Mais comme les deux fonctions E et F suffisent pour exprimer les trois quantités X, Y, Z, on voit qu'il est possible d'éliminer ces deux transcendantes, et qu'on obtiendra par ce moyen une équation algébrique entre X, Y, Z; cette équation est

$$X + Y + Z = \frac{\sin^3 \varphi}{\Delta \cos.\,\varphi} = \frac{n^3}{abc}.$$

On a donc aussi entre les forces A, B, C, cette équation algébrique :

$$\frac{A}{f} + \frac{B}{g} + \frac{C}{h} = \frac{3M}{abc} = 4\pi,$$

équation qui ne paraît pas avoir été remarquée jusqu'à présent, et qui doit être regardée comme un théorème nouveau.

18. Au surplus ce théorème est facile à déduire directement des formules du n° 13

$$A = \frac{3Mf}{a}\int \frac{x^2 dx}{\sqrt{(a^2 + m^2 x^2)}.\sqrt{(a^2 + n^2 x^2)}},$$

$$B = \frac{3Mg}{a(c^2 - b^2)}\left[\frac{c}{b} - \int \frac{dx\sqrt{(a^2 + n^2 x^2)}}{\sqrt{(a^2 + m^2 x^2)}}\right],$$

$$C = \frac{3Mh}{a(c^2 - b^2)}\left[-\frac{b}{c} + \int \frac{dx\sqrt{(a^2 + m^2 x^2)}}{\sqrt{(a^2 + n^2 x^2)}}\right];$$

car on a identiquement

$$\int \frac{dx\sqrt{(a^2 + n^2 x^2)}}{\sqrt{(a^2 + m^2 x^2)}} - \int \frac{dx\sqrt{(a^2 + m^2 x^2)}}{\sqrt{(a^2 + n^2 x^2)}} = \int \frac{(n^2 - m^2)x^2 dx}{\sqrt{(a^2 + m^2 x^2)}.\sqrt{(a^2 + n^2 x^2)}}.$$

Mais il se déduit encore plus immédiatement des expressions en doubles intégrales de l'art. 10, lesquelles donnent

$$\frac{A}{f} + \frac{B}{g} + \frac{C}{h} = 2\iint dp\,dq\ sin.\ p = 2\pi\int dp\ sin.\ p = 4\pi.$$

On peut encore déduire des formules de l'art. 16 cette équation

$$a^2 X + b^2 Y + c^2 Z = n^2 F(k, \varphi);$$

d'où résulte

$$\frac{Aa^2}{f} + \frac{Bb^2}{g} + \frac{Cc^2}{h} = \frac{3M}{n} F(k, \varphi);$$

équation digne de remarque, parce que la fonction F est la plus simple des fonctions elliptiques.

19. Les formules de l'attraction se simplifient beaucoup lorsque l'ellipsoïde a deux axes égaux, ou lorsqu'il devient un sphéroïde de révolution, ce qui offre deux cas à considérer.

Premier cas. S'il s'agit du sphéroïde aplati, on aura $b = c$, $m = n = \sqrt{(b^2 - a^2)}$, $k = 0$, $\Delta = 1$, et les formules de l'art. 16 donnent

$$X = \int d\varphi\ tang^2\ \varphi = tang.\ \varphi - \varphi,$$

$$Y = Z = \int d\varphi\ sin^2\ \varphi = \tfrac{1}{2}(\varphi - sin.\ \varphi\ cos.\ \varphi);$$

donc, en faisant $\varphi = \alpha$, on aura

$$A = \frac{3Mf}{n^3}(tang.\ \alpha - \alpha),$$

$$B = \frac{3Mg}{2n^3}(\alpha - sin.\ \alpha\ cos.\ \alpha),$$

$$C = \frac{3Mh}{2n^3}(\alpha - sin.\ \alpha\ cos.\ \alpha),$$

α étant un angle tel que $cos.\ \alpha = \frac{a}{b}$, et par suite $sin.\ \alpha = \frac{n}{b}$, $tang.\ \alpha = \frac{n}{a}$.

Dans ce cas on peut, sans rien diminuer de la généralité de la solution, faire $h = 0$, et par conséquent $C = 0$; car on peut prendre pour plan des x et y le méridien qui passe par le point attiré.

Second cas. S'il s'agit du sphéroïde alongé, on aura $b = a$, $k = 1$, $\Delta = cos.\ \varphi$, ce qui donne

$$X = Y = \int \frac{d\varphi\ sin^2 \varphi}{cos^3 \varphi}, \quad Z = \int \frac{d\varphi\ sin^2 \varphi}{cos.\ \varphi};$$

effectuant les intégrations depuis $\varphi = 0$ jusqu'à $\varphi = \alpha$, on en déduira les valeurs des trois forces A, B, C, comme il suit :

$$A = \frac{3Mf}{2n^3}\left(\frac{sin.\ \alpha}{cos^2 \alpha} - log.\ \frac{1 + sin.\ \alpha}{cos.\ \alpha}\right),$$

$$B = \frac{3Mg}{2n^3}\left(\frac{sin.\ \alpha}{cos^2 \alpha} - log.\ \frac{1 + sin.\ \alpha}{cos.\ \alpha}\right),$$

$$C = \frac{3Mh}{n^3}\left(log.\ \frac{1 + sin.\ \alpha}{cos.\ \alpha} - sin.\ \alpha\right).$$

Substituant les valeurs connues de $sin.\ \alpha$ et $cos.\ \alpha$, et supposant $g = 0$, ou $B = 0$, ce qui ne diminue en rien la généralité de la solution, on aura

$$A = \frac{3Mf}{2n^3}\left(\frac{cn}{a^2} - log.\ \frac{c + n}{a}\right),$$

$$C = \frac{3Mh}{n^3}\left(log.\ \frac{c + n}{a} - \frac{n}{c}\right),$$

formules dans lesquelles $n = \sqrt{(c^2 - a^2)}$.

Solution du cas où le point attiré est situé hors de l'ellipsoïde.

20. Lorsque le point attiré est situé hors de l'ellipsoïde, ses trois coordonnées f, g, h, prises dans le sens des demi-axes a, b, c, devront satisfaire à la condition

$$\frac{f^2}{a^2}+\frac{g^2}{b^2}+\frac{h^2}{c^2}>1;$$

cela posé, il faut d'abord, suivant la théorie précédente, déterminer la quantité ξ d'après l'équation

$$\frac{f^2}{a^2+\xi}+\frac{g^2}{b^2+\xi}+\frac{h^2}{c^2+\xi}=1;$$

connaissant la valeur réelle et positive de ξ, on aura les demi-axes a', b', c', d'un second ellipsoïde M′ par les équations

$$a'^2=a^2+\xi,\quad b'^2=b^2+\xi,\quad c'^2=c^2+\xi;$$

on déterminera ensuite sur la surface de l'ellipsoïde M′, un point S′ qui ait pour coordonnées

$$f'=\frac{a}{a'}f,\quad g'=\frac{b}{b'}g,\quad h'=\frac{c}{c'}h.$$

Soient maintenant A′, B′, C′, les trois forces paralleles aux demi-axes a', b', c', qui résultent de l'attraction de l'ellipsoïde M′ sur le point S′; ces forces étant trouvées par les formules du premier cas, on en déduira les forces A, B, C, qu'exerce l'ellipsoïde M sur le point extérieur S, lesquelles seront ainsi exprimées :

$$A=\frac{bc}{b'c'}A',\quad B=\frac{ac}{a'c'}B',\quad C=\frac{ab}{a'b'}C';$$

or, on a par les formules du n° 12

$$A' = \frac{3M'f'}{a'}\int\frac{x^2dx}{\sqrt{[a'^2+(b'^2-a'^2)x^2]}.\sqrt{[a'^2+(c'^2-a'^2)x^2]}},$$

$$B' = \frac{3M'g'}{b'}\int\frac{x^2dx}{\sqrt{[b'^2+(a'^2-b'^2)x^2]}.\sqrt{[b'^2+(c'^2-b'^2)x^2]}},$$

$$C' = \frac{3M'h'}{c'}\int\frac{x^2dx}{\sqrt{[c'^2+(a'^2-c'^2)x^2]}.\sqrt{[c'^2+(b'^2-c'^2)x^2]}}.$$

Faisant les substitutions et observant qu'on a $\frac{M'}{M}=\frac{a'b'c'}{abc}$, $b'^2-a'^2=b^2-a^2$, $c'^2-a'^2=c^2-a^2$, on trouve pour les forces cherchées A, B, C, ces expressions :

$$A = \frac{3Mf}{a'}\int\frac{x^2dx}{\sqrt{[a'^2+(b^2-a^2)x^2]}.\sqrt{[a'^2+(c^2-a^2)x^2]}},$$

$$B = \frac{3Mg}{a'}\int\frac{x^2dx}{\sqrt{[b'^2+(a^2-b^2)x^2]}.\sqrt{[b'^2+(c^2-b^2)x^2]}},$$

$$C = \frac{3Mh}{c'}\int\frac{x^2dx}{\sqrt{[c'^2+(a^2-c^2)x^2]}.\sqrt{[c'^2+(b^2-c^2)x^2]}},$$

dans lesquelles les intégrales sont toutes prises depuis $x=0$ jusqu'à $x=1$.

Ces intégrales pourront être réduites en séries comme dans l'art. 13, et les séries seront d'autant plus convergentes que les quantités a', b', c', qui dépendent de la distance du point attiré, seront plus grandes.

21. Les mêmes intégrales peuvent être aussi exprimées en fonctions elliptiques ; pour cela on supposera, comme ci-dessus, $a<b$ et $b<c$, ce qui donnera pareillement $a'<b'$ et $b'<c'$; puis faisant de même $b^2-a^2=m^2$, $c^2-a^2=n^2$, $1-\frac{m^2}{n^2}=k^2$, et déterminant l'amplitude φ' d'après les va-

leurs $tang.\ \varphi' = \frac{n}{a'}$, $sin.\ \varphi' = \frac{n}{c'}$, $cos.\ \varphi' = \frac{a'}{c'}$, on aura d'abord

$$A = \frac{3Mf}{n^3} X', \quad B = \frac{3Mg}{n^3} Y', \quad C = \frac{3Mh}{n^3} Z',$$

ensuite

$$X' = \frac{n^2}{m^2} [\Delta' \, tang.\ \varphi' - E(k, \varphi')],$$

$$Y' = \frac{n^2}{m^2 k^2} \left[E(k, \varphi') - \frac{k^2 sin.\ \varphi' \, cos.\ \varphi'}{\Delta'} \right] - \frac{1}{k^2} F(k, \varphi'),$$

$$Z' = \frac{1}{k^2} [F(k, \varphi') - E(k, \varphi')].$$

Il est très-remarquable que les forces A, B, C, sont exprimées absolument de la même manière en fonctions elliptiques, soit que le point attiré S soit situé au-dedans de l'ellipsoïde, ou qu'il soit situé au-dehors. La seule différence est dans la valeur de φ qui mesure l'amplitude des fonctions elliptiques; lorsque le point S est situé au-dedans de l'ellipsoïde ou sur sa surface, on a $tang.\ \varphi = \frac{n}{a}$; lorsqu'il est situé au-dehors on a $tang.\ \varphi = \frac{n}{a'}$, a' étant une quantité qu'on peut déduire immédiatement de la résolution de l'équation

$$\frac{f^2}{a'^2} + \frac{g^2}{a'^2 + m^2} + \frac{h^2}{a'^2 + n^2} = 1.$$

Le second cas, considéré analytiquement, est même plus simple que le premier, parce que la valeur de φ est plus petite, et qu'ainsi les approximations sont plus faciles à obtenir.

22. Les formules précédentes donnent encore

$$X' + Y' + Z' = \frac{sin^3 \varphi'}{\Delta' \, cos.\ \varphi'} = \frac{n^3}{a' b' c'},$$

d'où il suit que les forces A, B, C, satisfont à l'équation algébrique

$$\frac{A}{f}+\frac{B}{g}+\frac{C}{h}=\frac{3M}{a'b'c'}=4\pi\cdot\frac{abc}{a'b'c'};$$

elles satisfont aussi à l'équation suivante, qui ne contient que la fonction de première espèce $F(k,\varphi')$,

$$\frac{Aa'^2}{f}+\frac{Bb'^2}{g}+\frac{Cc'^2}{h}=\frac{3M}{n}F(k,\varphi').$$

23. Ces formules se simplifient lorsque l'ellipsoïde devient un sphéroïde de révolution, ce qui offre deux cas à considérer.

Premier cas. Si le sphéroïde est aplati, on aura $b=c$, $b^2-a^2=m^2$, $n=m$, $k=0$, et comme on peut prendre pour plan des x et y le méridien qui passe par le point attiré S, on aura $h=0$, de sorte que l'équation qui détermine a' sera

$$\frac{f^2}{a'^2}+\frac{g^2}{a'^2+n^2}=1,$$

d'où l'on tire

$$a'^2=\tfrac{1}{2}(f^2+g^2-n^2)+\tfrac{1}{2}\sqrt{[(f^2+g^2-n^2)^2+4f^2n^2]};$$

cela posé, ayant déterminé φ' par la valeur $tang.\ \varphi'=\frac{n}{a'}$, les deux forces A et B auxquelles se réduit l'attraction du sphéroïde sur le point S, seront ainsi exprimées :

$$A=\frac{3Mf}{n^3}(tang.\ \varphi'-\varphi'),$$

$$B=\frac{3Mg}{2n^3}(\varphi'-sin.\ \varphi'\ cos.\ \varphi').$$

Second cas. Si le sphéroïde est alongé, on aura $b=a$,

$m=0$, $c^2-a^2=n^2$, $k=1$; et comme on peut prendre pour plan des x et z celui qui passe par le point attiré S, on pourra faire $g=0$; de sorte que l'équation qui détermine a' sera

$$\frac{f^2}{a'^2}+\frac{h^2}{a'^2+n^2}=1\,;$$

d'où l'on tire

$$a'^2=\tfrac{1}{2}(f^2+h^2-n^2)+\tfrac{1}{2}\sqrt{[(f^2+h^2-n^2)^2+4f^2n^2]}\,;$$

cela posé, ayant déterminé φ' par l'équation $tang.\ \varphi'=\frac{n}{a'}$, les deux forces A et C, auxquelles se réduit l'attraction du sphéroïde sur le point S, auront pour valeurs

$$A=\frac{3Mf}{2n^3}\left[\frac{sin.\ \varphi'}{cos^2\varphi'}-log.\left(\frac{1+sin.\ \varphi'}{cos.\ \varphi'}\right)\right],$$

$$C=\frac{3Mh}{n^3}\left[log.\left(\frac{1+sin.\ \varphi'}{cos.\ \varphi'}\right)-sin.\ \varphi'\right].$$

